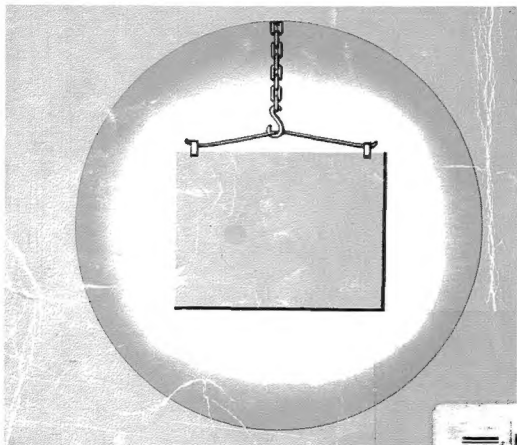


تكنولوجيا الألومنيوم

الجزء الأول



الألس
التكنولوجية



الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

تكنولوجيا الألومنيوم

الجزء الأول

مهندس سعيد عبد الغفار

مؤسسة الأهرام بالقاهرة

محتويات الكتاب

صفحة	
٥	ملفحة
٧	الباب الأول : الألومنيوم - استخداماته وخواصه
١٩	الباب الثاني : إنتاج الألومنيوم
١٨	مراحل إنتاج الألومنيوم
٢١	١ - خامات الألومنيوم
٢٤	٢ - العمليات المتالورجية الفيزيائية في صناعة الألومنيوم
٤٢	٣ - إنتاج المواد المساعدة في صناعة الألومنيوم
٤٩	٤ - إنتاج الألومينا
٦١	٥ - استخلاص الألومنيوم
٧٠	٦ - تنقية الألومنيوم
٧٧	الباب الثالث : المتالورجيا الفيزيائية للفولاذ وتطبيقاتها
٧٧	ملفحة في المتالورجيا الفيزيائية
٨١	قاعدة الصف و منحنيات الاتزان
٨٥	منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية
١٠١	منحنيات الاتزان لمجموعة ثلاثية
١٠٩	الباب الرابع : المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم
١١٣	متالورجيا المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم
١١٣	التصلد نتيجة التشغيل
١١٥	دور عنصر الوقت في عمليات المعاملة الحرارية
١١٨	التجمد النهائي
١١٨	الترسيب (لمكونات السبيكة)
١١٩	الإنزالية
١١٩	التجنيص
١٢٠	تقوية سبائك الألومنيوم بواسطة المعاملة الحرارية
١٢٤	المحلل الجاسد

صفحة	
١٢٥	الانتشار
١٢٦	التقنية - طرق التحكم في المعاملة الحرارية
١٢٧	التعليق بالتحقق إزمانياً
١٣٥	تقسيم سبائك الألومنيوم (بالنسبة لاستجابتها للمعاملة الحرارية)
١٣٥	المبادئ الأساسية لسبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل
١٣٥	التشوه اللدن
١٣١	ظاهرة الاستعادة
١٣٣	إعادة التبلور
١٣٣	حجم الحبيبات المتكونة
١٣٤	تلدن (تخمير) سبائك الألومنيوم
١٣٤	سبائك الألومنيوم التي لا تستجيب للمعاملة الحرارية
١٣٤	سبائك الألومنيوم التي تستجيب للمعاملة الحرارية
١٣٥	المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم كعملية تدوير لكونات الشبكة في محلول
١٣٧	خطوات التقسية بالمعاملة الحرارية للسبائك
١٣٨	المشاكل التي تنشأ عن المعاملة الحرارية
١٣٩	الباب الخامس : أجهزة التسخين في صناعة الألومنيوم
١٤٣	الباب السادس : سبائك الألومنيوم وعواصمها
١٤٦	الألومنيوم النقي
١٤٧	الألومنيوم النقي تجارياً
١٤٨	سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل
١٤٨	سبائك الألومنيوم المصبوبات
١٩٨	الباب السابع : تآكل سبائك الألومنيوم وتأثير الإجهادات الداخلية
٢٠٨	الباب الثامن : ميثانورچيا مساحيق الألومنيوم
٢٢٥	الملاحق :
٢٢٦	ملحق (١) : الجدول الدوري للعناصر
٢٢٨	ملحق (٢) : العناصر الكيميائية ورموزها
٢٣٠	ملحق (٣) : تأثير بعض الكيماويات على الألومنيوم وسبائكه
٢٣٥	ملحق (٤) : بعض منحنيات الاتزان الحراري لمجموعات ثنائية لسبائك الألومنيوم
٢٤٢	ملحق (٥) : المعاملات الحرارية لبعض سبائك الألومنيوم شائعة الاستعمال
٢٤٥	ملحق (٦) : فحص مجهرى لبعض عينات من سبائك الألومنيوم
٢٥٢	ملحق (٧) : أوزان القطاعات الأساسية لمنتجات الألومنيوم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

يوجد الألونيوم بكثرة في الطبيعة ، وهو يتصدر الفلزات جميعاً ، من حيث وفرته في القشرة الأرضية . وبالرغم من ذلك ، فقد ظل مجهولاً قروناً طويلة ، إذ ظلت الإمكانيات البشرية قاصرة عن استخلاص الألونيوم فلزاً نقياً ، حتى القرن الماضي . ويرجع ذلك إلى شراعة الفلز الكبيرة للاتحاد بالأكسجين وغيره من العناصر المختلفة ، ومن ثم كان انتزاعه منها أمراً صعباً .

ولكن ما إن تم اكتشافه علياً ، والتوصل بطريقة اقتصادية إلى استخلاصه من خاماته ، حتى شارك بفاعلية وإيجابية في شتى نواحي الحياة ، مدنية وعسكرية ، وتبواً بمجدارة مكانة مرموقة ، وأصبح بفضل سبائكه المتعددة ، من أهم المواد الهتسية .

وظهر إلى سيز التطبيق ، عدد لا بأس به من سبائك الألونيوم المختلفة ، بعضها يتقبل طرق التشكيل بالطرق والسحب ، وبعضها يناسب أساليب التشكيل بالسباكة . كما نتج عن تقدم وتطور الميتالورجيا ، أن أمكن معاملة كل سبيكة حل حدة ، بطرائق متعددة ومختلفة ، وبذلك تغير التركيب البلوري للسبيكة نفسها إلى أنماط متباينة ، لكل منها خواص وصفات متنوعة - وقد تتسع الهوة بين هذه الخواص والصفات إلى حد بعيد - مما وسع من نطاق استخدام الألونيوم وسبائكه .

ويتم هذا الجزء الأول من الكتاب بميتالورجيا الألونيوم . فيعرض الباب الأول لاستخداماته وخواصه ، ويتناول الباب الثاني المراحل المختلفة لإنتاج الفلز ، حتى الحصول عليه في كتل نقية صالحة لأغراض التشكيل المختلفة ، بعد إضافة العناصر السبكية المناسبة . ثم يلي الباب الثالث الضوء على الميتالورجيا الفيزيائية للفلزات وتطبيقاتها ، كدخل أساسي للباب الرابع الذي يناقش أساليب المعاملة الحرارية لسبائك الألونيوم . ولأهمية أساليب المعاملة الحرارية لسبائك الألونيوم وتباينها ، كان لزائماً التعرض بشئ من الإسهاب ، لأجهزة التسخين التي تناسب هذه الأغراض . فأفرد لها الباب الخامس .

ولقد خصص الباب السادس لتقديم مجموعة مناسبة من سبائك الألونيوم المختلفة ، وإدراج خواصها واستخداماتها . ويتناول الباب السابع موضوع تآكل سبائك الألونيوم وأسبابها ، ومن ثم طرق الوقاية الميتالورجية منها . وأفرد الباب الأخير لدراسة ميتالورجيا المساحيق ، وتطبيقاتها بالنسبة للألونيوم .

ويشتمل الكتاب على بعض الملاحق الهامة التي لا غنى عنها في التطبيقات الصناعية والعملية .
والكتاب بصورته هذه ، يتناول موضوعات تخصصية بصورة مبسطة ، تجعله مناسباً للقاعدة
المریضة من الملاحظين والفنيين . وفي الوقت نفسه يجد فيه المهتمسون مادة علمية ، تتناول شتى
الجوانب المتألفة للألومنيوم ، خاصة في هذه المرحلة التي يجري فيها استكمال تشييد مجمع
الألومنيوم الضخم في جمهورية مصر العربية .

والله سبحانه نسأل أن يوفقنا دائماً إلى ما فيه التوفيق والسداد .

سعيد عبد الغفار

المصاب الأول

الألومنيوم : استخداماته وخواصه

يحتل الألومنيوم المرتبة الأولى من بين جميع الفلزات من حيث الوفرة ، ويأتي في المرتبة الثالثة من بين العناصر جميعا ، الجدول (١) ، إذ يأتي بعد الأكسجين والسيليكون مباشرة ، وهو يكون ٧,٤٥ ٪ من وزن القشرة الأرضية . ولقد عرف في الطبيعة - حتى الآن - أكثر من ٢٥٠ عامة معدنية تحتوي على الألومنيوم . ولكن الألومنيوم لم يعثر عليه قط بالحالة الفطرية لشراسته البالغة للأكسجين ، بل يوجد في الطبيعة على هيئة مركبات . وتتكون على سطح الألومنيوم الغلزي ، فور تعرضه لأكسجين الهواء ، طبقة متأسكة من الأكسيد . والواقع أنه لولا تلك الطبقة ، لاحترق في الجو مشتعلا مثل البوتاسيوم . وعليه ، يمكن القول بأنه ما من أحد يمكنه رؤية الفلز نفسه ، إذ أن ما نراه هو طبقة الأكسيد التي تغطى لمعان الألومنيوم ، وتحببه من المزيد من التأكسد .

وهذه الطبقة من الأكسيد ، هي التي تكسب الألومنيوم مقاومة عالية ، لتأثير بعض السوائل الأكالة ، فلا يؤثر عليه حمض النتريك المركز والأحماض العضوية ، ولكن القلويات يمكنها إذابة طبقة الأكسيد ، معرضة الممدن أسفلها للتآكل والدمار .

وكثافة الألومنيوم منخفضة نسبيا ، إذ تبلغ حوالى ثلث كثافة معظم المعادن التي تتنافس في مجالات الاستخدامات العملية ، باستثناء عنصرى المنيسيوم والتيتانيوم .

وما زالت منافسة التيتانيوم للألومنيوم في أضييق الحدود ، وإن كانت قد توفرت في بعض الاستخدامات ، مثل مجال الطيران ، حيث تعمل درجات حرارة التشغيل العالية ، على خفض متانة سبائك الألومنيوم ، إلى الحد الذي يبدو فيه للنسبة (المتانة : الوزن) غير عملية في تلك الاستخدامات .

وقبل توافر التيتانيوم ، اضطلع الصلب المقاوم للصدأ بكثير من المهام في هذه التطبيقات . ولكن تغطي الآن تشكيلة واسعة مبتكرة من سبائك الألومنيوم - أمكن تصنيفها بفضل مجهودات دؤوبة لجمهرة الباحثين في هذا الميدان - بعضا من هذه التطبيقات ، متى كانت درجة الحرارة متوسطة نسبيا .

وإذا قورنت أسلاك الألومنيوم مع أسلاك النحاس ، يتضح أن الموصل الألومنيومي الذي له نفس المقاومة لتتيار الكهربائي ، يكون أخف وزنا من الموصل النحاسي ، وعلى ذلك تلزم حملات أقل لخطوط نقل القدرة . كما أن المهرك أو المولد الكهربائي الذي تصنع ملفاته من أسلاك الألومنيوم ، يكون أخف وزنا ، من تلك المصنوعة من الأسلاك النحاسية .

هذه المزايا وغيرها ، تجعل من الألومنيوم الفلز المفضل في العديد من الأعمال الهندسية على اختلاف تخصصاتها ، فهو يستخدم في الهندسة الكهربائية ، في صورة أسلاك ، وكابلات ، وموصلات ، ومكثفات ، ومقومات تيار ، وأجهزة . وتشتمل في هندسة الراديو ، رقائق من الألومنيوم لا تزيد في سمكها على ورق تغليف السجائر ، وأسلاك من الألومنيوم أدق من خيط المنكيوت .

وتعتبر صناعة الطيران ، أكبر مستعمل للألومنيوم وسبائكه ، حيث تصنع منها هياكل الطائرات الحديثة . ويؤدي استخدام سبائك الألومنيوم في بناء السفن ، إلى زيادة حمولة السفن ، أو إلى تقليل غاطسها ، والصفة الأخيرة أهمية كبيرة في الملاحة البحرية ، حيث كثافة الماء أقل . وتستخدم كميات كبيرة من سبائك الألومنيوم في صناعة السيارات ، والأتوبيسات ، وعربات السكك الحديدية . ولقد أصبحت سبائك الألومنيوم مادة رئيسية في صناعة محركات الاحتراق الداخلي المختلفة ، خاصة تلك التي تبرد هوائيا ، حيث ينبغي أن تكون ذات موصلية عالية لحرارة ، إلى جانب خفة وزنها .

وكذلك يستخدم الألومنيوم وسبائكه في صناعة آلات ومعدات التصوير السيني والفوتوغرافي ، وأجهزة الراديو ، وفي صنع أثاث خفيف الوزن ، يمتاز بمقاومته ورواقه .

وفي الهندسة الكيميائية ، يستفاد من مقاومة التآكل العالية للألومنيوم ، في صنع أجهزة إنتاج حمض النريك ، وكثير من المواد العضوية ، والمنتجات الغذائية وغيرها .

ولقد استخدم الألومنيوم وسبائكه ، في صنع العديد من أجزاء هياكل الآلات الصناعية .

كما يستخدم في صنع أوعية حمض ألكليك ، وحمض الزيتيك ، وحمض الستاريك ، وغيرها من الأحماض العضوية ، وفي صنع معدات إنتاج حمض البوريك ، والدهون ، والكحولات ، والزيوت ، والورنيشات ، والحرير الاصطناعي ، والأثيرات ، والجليسرين وغيرها .

ولألفة الألومنيوم الكبيرة للاتحاد بالأكسجين ، فهو يستطلع اختزال معظم الفلزات من أكاسيدها ، مما يمكن من الحصول على الفلزات النادرة كالسيوم ، والمغنسيوم ، والسترونشيوم ، والباريوم ، والليثيوم ، وغيرها . وتستخدم الأنواع الحديثة من الألومنيوم في عملية إزالة الأكسدة ، ونزع الأكسجين في بعض أنواع الصلب .

وكثيرا ما يستخدم الألومنيوم عالي النقاوة ، أو بعض سبائكه الخاصة ، في صناعة عاكسات الضوء والمرايا ، إذ يكتسب الألومنيوم وبعض سبائكه الخاصة ، قوة عاكسة كبيرة بعد تلميعها كيميائيا ، أو بواسطة التحليل الكهربائي .

وتستخدم مركبات الألومنيوم المختلفة ، في كثير من فروع الصناعة ، فيستخدم الكورندم ، وتركيبه أكسيد الألومنيوم (لو أم) ، في صنع أقراص التلميع ، إذ أنه من أفضل مواد التلميع . ويستخدم أكسيد الألومنيوم النقي في صناعة المواد المقاومة لحرارة عالية «الحراريات»

ذات الأداء الممتاز ، والياقوت الاصطناعي ، والأنواع الجيدة من أسمنت الأسنان . أما كلوريد الألومنيوم اللاماني ، فيستخدم عاملا حفازا في عمليات تكرير البترول . وتستخدم كبريتات الألومنيوم لوپ (كـ ب أ) ، مادة لترشيع الماء عند تنقيته ، كما يستخدم الشب ، وهو كبريتات مائية للألومنيوم والهوتاسيوم ، في صناعة الفزل والنسيج ، وفي صناعة ديبج الجلود وصناعة الورق.

خواص الألومنيوم

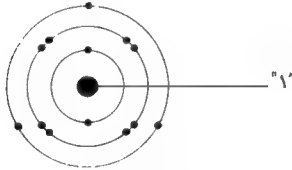
الخواص الفيزيائية :

• التركيب الذري : عنصر الألومنيوم ، رمزه الكيميائي لو ، وعدده الذري ١٣ ، أي أن ذرة الألومنيوم تحتوي على ١٣ إلكترونات ، يحصل كل منها شحنة كهربائية سالبة واحدة ، وتترتب هذه الإلكترونات في مدارات ثلاثة حول نواة تتركز فيها ١٣ شحنة كهربائية موجبة .

وترتب الإلكترونات في المدارات المختلفة طبقا للقانون الرياضي التالي :

عدد الإلكترونات في المدار = $2 \times (\text{رقم ترتيب المدار})^2$.

وعليه فإن عدد الإلكترونات في المدار الأول ٢ ، وفي المدار الثاني ٨ ، وتتبقى ثلاثة إلكترونات تسبح في المدار الخارجي ، وهي التي تحدد تكافؤ عنصر الألومنيوم . ولذلك فالألومنيوم ثلاثي التكافؤ ، الشكل (١) .



(شكل ١)

١ - نواة

العدد الذري ١٣

الشحنة الكهربائية + ١٣

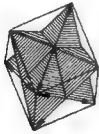
التكافؤ ٣

• التركيب البلوري : عندما تتحول الفلزات المنصهرة إلى حالة الصلابة ، فإنها تتخذ أعمالا بلورية . وتصل الفلزات والجزئيات على ترتيب نفسها في أوضاع محددة ، متباعدة الانتظام بالنسبة

لبعضها بعضا . وتتظم ذرات الألومنيوم في بلورات يكون هيكلها المتصفي مكعبا متمركز الوجه (كما في الشكل ٢) . ولهذا فهو من أكثر الفلزات قابلية للاستطالة ، لتعدد مستويات الانزلاق به ، إذ يحظى هذا التنسيق البلوري - المكعب متمركز الوجه - بأكبر عدد متاح من مستويات الانزلاق اللازمة لإحداث الاستطالة (كما في الشكل ٣) . ويبلغ طول ضلع الهيكل البلوري المكعب الشكل للألومنيوم بالغ النقاوة : $10 \times 4,04 - 8$ سم .

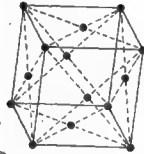
• الكثافة : تعتبر خفة الوزن هي السمة الرئيسية ، والخاصة المميزة لفلز الألومنيوم ، وبها تفوقه على جميع أقرانه من الفلزات . ويبلغ الوزن القوي • لهذا الفلز ٢,٦٩٧ ، ووزنه النوعي ٢,٧٠ وهو كسائر الفلزات ، تتناقص كثافته بارتفاع درجة الحرارة . ولا تتأثر كثافة الألومنيوم •• ، بصورة جوهرية ، بإضافة فلزات أخرى كمناسير سبيكة إليه ، لإنتاج السبائك التي يجرى استخدامها في شتى الميادين .

وخفة وزن الألومنيوم لها أهمية كبيرة في جميع التطبيقات التي تتعرض لمركبة . ويتيح الاقتصاد في الوزن ، إمكانية استخدام أحمال أكبر ، أو اقتصاد أكثر في التشغيل ، وكفاءة



(شكل ٣)

مستويات الانزلاق لبلورة الألومنيوم
يتضح من الشكل أن هذا النمط البلوري
(المكعب متمركز الوجه) يتمتع بأكبر
عدد متاح من مستويات الانزلاق القطرية
(١ ، ٠ ، ١)



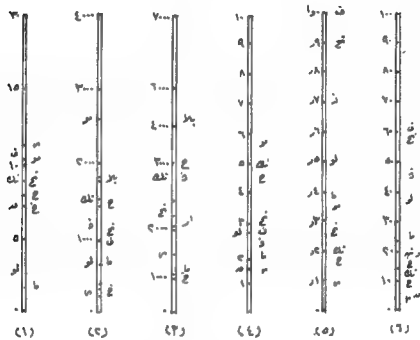
(شكل ٢)

التنسيق البلوري للألومنيوم ، مكعب متمركز الوجه

أصل في أداء الأجزاء المتحركة ، كما لا يتعرض من يعمل يدويا بأدوات من الألومنيوم ، للإجهاد بسرعة .

وبسبب خفة وزن الألومنيوم ، فإن الموصلية الكهربائية لوحدة الكتلة من الألومنيوم النقي ، تبلغ ٢١,٢٩٪ مقارنة بمثلها للنحاس الأحمر ، ولذلك فهي عالية ، وتفوق غيرها لأي فلز آخر . وتنخفض الموصلية الكهربائية للألومنيوم ببعض الشئ* ، بإضافة بعض المناسير السبيكية إليه .

ويتميز الألومنيوم بموصلية عالية للحرارة ، ولكنها تقل قليلا بإضافة عناصر سبكية إليه .
وللألومنيوم التي معامل تمدد حراري يبلغ ضعف المعاملات الحرارية للمعادن الحديدية ،
وزيادة قليلا على مثيله للنحاس وسبائكته .
ولمعظم العناصر السبكية التي تضاف إلى الألومنيوم ، تأثير ضئيل على معامل تمدده الحراري .
ولكن إضافة نسبة عالية- نسيب- من السيليكون ، تعمل على إنقاص قيمة هذا المعامل إنقاصا ملموسا .
ويوضح الشكل (٤) مقارنة لوضع الألومنيوم من حيث خصائصه بين أقرانه من الفلزات الأخرى .



(شكل ٤)

مقارنة بين الخواص الطبيعية الأساسية للألومنيوم مع غيره من الفلزات الأخرى
١ - الكثافة عند ٢٠°م (جم / سم^٣) ٢ - درجة الانصهار °م
٣ - درجة التليان °م ٤ - الصلادة بالتدرج العشري
٥ - الموصلية الكهربائية عند ٢٠°م أوم-سم
٦ - الموصلية الحرارية ما بين صفر ، ١٠٠°م كالوري /سم /م /°م /ث .

● الوزن الذري للعنصر = $\frac{\text{وزن ذرة العنصر}}{\text{وزن ذرة الهيدروجين}}$
● انظر الملحق رقم (٧)

ويبين الجدول (١) خواص الألومنيوم الفلزى (نسبة الألومنيوم ٩٩,٩٩٦٪ على الأقل) ، كما يبين الجدول (٢) التركيب الذرى والبلورى للألومنيوم الفلزى .

جسول (١)

خواص الألومنيوم الفلزى (على النقاوة)

٧٢٤٠ كجم/م ^٣	معامل المرونة
٢٧١٠ كجم/م ^٣	معامل الجسوة
٠,٣٣	نسبة بواسون
٨٥-٧٥	العاكسية للضوء الأبيض (%)
٩٥-٨٥	العاكسية للحرارة (%)
١٠٥×١٠ ^{-٦}	التأثيرية المغنطيسية
٢,٤٤ ميكرو أوم/سم	المقاومة الكهربائية عند صفر °م
٢,٦٧ ميكرو أوم/سم	المقاومة الكهربائية عند ٢٠ °م
٦٤,٦	الموصلية الكهربائية الحجمية عند ٢٠ °م (كثبة مثوية من النحاس المحمر)
	الموصلية الكهربائية الكتلية عند ٢٠ °م (كثبة مثوية من النحاس المحمر)
٢١٢,٩	المكافئ الكهروكيميائى
٠,٣٣٥٤ جرام/أمبير. ساعة	الجهود الإلكترونية عند ٢٥ °م
١,٦٩ فولت	نقطة الانصهار
٥٩٥٨ °م	نقطة الغليان
١٨٠٠ °م	الموصلية الحرارية (من صفر إلى ١٠٠ °م)
٥٢,٠ كالورى/سم ^٢ /م	حرارة الاحتراق
٥/ثانية	
٣٨٠,٠٠٠ كالورى/جرام جزئى	الحرارة الكامنة للانصهار
٩٣ كالورى / جرام	الحرارة الكامنة للتصعيد (محسوبة نظريا)
٢٠٠٠ كالورى / جرام	الانكماش فى الحجم من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة عند درجة
	الانصهار (%)
٦,٧	الانكماش فى الحجم من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة عند ٢٠ °م (%)
١١,٩	الانكماش فى الحجم من حالة الانصهار إلى ٢٠ °م (%)
٥,٦	الانكماش فى الحجم من حالة الصلبة عند نقطة الانصهار إلى ٢٠ °م (%)

جملول (٢)

التركيب الذرى والبلورى للألومنيوم على النقاة

لو	الرمز الكيماوى
١٣ +	الشحنة الكهربائية للنواة
١٣	العدد الذرى
٣ (٢) (٨)	ترتيب الإلكترونات داخل الذرة
٣	التكافؤ
٢٦,٩٧	الوزن الذرى
١٠٠ سم ٣/جرام ذرى	الحجم الذرى
لا توجد	التظاير
مكعب متمركز الوجه	التركيب البلورى
٨-١٠×٤٠٤ سم	طول ضلع الشبكة البلورية

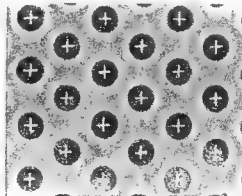
الخواص الكيماوية :

• التأكسد الجوى : للألومنيوم الفلزى مقدرة هائلة على التأكسد لحظيا فور تعرضه للهواء الجوى ، مكونا طبقة رقيقة من الأكسيد المتأصل الصلب ، تملأ سطحه اللامع فتغطى به رقيقه . وتقوم هذه الطبقة من الأكسيد ، بحماية ورقاية الفلز من المؤثرات الخارجية ، وينفرد الألومنيوم بهذا السلوك ، ولا يشبه فيه غيره من الفلزات .

• التآكل الجلفانى : ويعرف أيضا بالتآكل الكهروكيماوى، وينشأ بصفة عامة نتيجة لتولد تيار كهربائى يبدأ فى السريان عند حدوث تفاعل بين المعدن والإلكترونات المحيط به . وتتكون الشبكة البلورية للمعدن ، من أيونات موجبة الشحنة (كاتيونات) موجودة بأركان الشبكة البلورية ، وإلكترونات حرة متحركة تسيح فى كل حجم المعدن (كما فى الشكل ه) . ومن الممكن أن تنفصل الكاتيونات عن سطح المعدن ، وتنتقل إلى الوسط المجاور ، أى الإلكترونات .

(شكل ه)

تركيب الألومنيوم ، وهو مثل تركيب جميع الفلزات ، يتألف من أيونات موجبة الشحنة تعرف بالكاتيونات ، يشار إليها فى الشكل بالرمز + وتقع على أركان الشبكة البلورية ، وتحاط بمحابة من الإلكترونات الحرة التى تسيح فى كل حجم المعدن



وفرق الجهد الناقص ، عند سطح تلامس الممدن مع الإلكتروليت ، وهو الدال على نزع الفلز للذوبان ، يسمى « الجهد القطبي » وتتوقف قيمته أساسا على تركيب الإلكتروليت .

ويحدد الجهد القطبي للفلزات تجريبيًا ، مقبلا بالمقارنة بجهد الهيدروجين الذي اعتبر مساويا للصفر . وبين الجدول (٣) الجهد القطبي لبعض الفلزات مقبلا بالنسبة للقطب الهيدروجيني . ومن الجدول نرى أن الفلزات الموجودة فوق الهيدروجين تكون ذات جهد موجب ، ولذلك فهي صلبة الذوبان ، في حين أن المادان الموجودة تحت الهيدروجين تكون أكثر قابلية للذوبان ، كلما كان جهدها السالب أكبر . وهذا هو السبب في أن المادان النقية ، والسبائك وحيدة الصنف ، تقاوم التآكل الكهروكيميائي جيدا ، أما السبائك التي تتكون بينها من عدة عناصر لها جهود مختلفة ، فهي تتعرض للتآكل الكهروكيميائي بسهولة ، وسرعان ما تبدأ في التدهور والانهيار ، إذ يمكن اعتبارها مكونة من خلايا كهربائية متناهية الصغر ، متعددة الأقطاب . كما أن الأجزاء التي تصنع من عدة مواد معدنية مختلفة الجهود ، هي في الواقع خلايا كهربائية متناهية الصغر ، حيث يكون الممدن المنخفض الجهد هو الأنود (المصمد) ويتآكل ، بينما لا يتآكل الممدن الأعلى جهدا لقيامه بدور الكاثود (المهبط) .

جدول (٣)

القيم القياسية للجهد القطبي لبعض الفلزات

المنصر	الجهد المادي بالنسبة للهيدروجين	المنصر	الجهد المادي بالنسبة للهيدروجين
الذهب	+ ١.٥٠	الكوبالت	- ٠.٢٧
الزئبق	+ ٠.٨٦	الحديد	- ٠.٤٣٩
الفضة	+ ٠.٨٠	الكروم	- ٠.٥١
النحاس	+ ٠.٣٣٤	الزنك	- ٠.٧٦٢
الزئبق	+ ٠.٢٢١	المنجنيز	- ١.٠١
الأتينوم	+ ٠.٢٠٠	الألومنيوم	- ١.١٣
الهيدروجين	صفر	المغنسيوم	- ١.٥٥
الرصاص	- ٠.١٢٧	الصوديوم	- ٢.٧١
القصدير	- ٠.١٣٦	الكالسيوم	- ٢.٧٦
النيتكل	- ٠.٢٢	البوتاسيوم	- ٢.٩٢

وبين الجدول (٤) الجهد القطبي لبعض الفلزات والسبائك ، مقبلا في محلول لكلوريد الصوديوم . وقد اختير هذا المحلول هنا لأهميته في الحياة العملية ، وليكون مؤشرا لمسلك الفلز وسبائكته من حيث التآكل الجلفاني ، وكذلك ليعطى فكرة من وضعها بالنسبة لبعض الفلزات والسبائك الأخرى .

جدول (٤)
الجهد القوي لبعض الفلزات والسبائك
مقيساً في حلول لكلوريد الصوديوم (-)

الجهد بالقولت (٢)	الفلز أو السبيكة •
١,٧٣ -	المغنسيوم
١,٠٠ -	الزنك
٠,٩٦ -	سبيكة الألومنيوم ١٨ د (للسبوكات)
٠,٨٧ -	سبيكة الألومنيوم ١٦ د (للسبوكات)
٠,٨٧ -	سبيكة الألومنيوم ١٤ د (للتشكيل)
٠,٨٥ -	الألومنيوم الفلزى (عالي النقاوة)
٠,٨٥ -	سبيكة الألومنيوم ١٢ د (للتشكيل)
٠,٨٣ -	سبيكة الألومنيوم ب (ألومنيوم نقي تجارياً لأغراض التشكيل)
٠,٨٣ -	سبيكة الألومنيوم ١٢ د (للسبوكات)
٠,٨٢ -	الكاديوم
٠,٨١ -	سبيكة الألومنيوم ٢١ د (للسبوكات)
٠,٧٨ -	سبيكة الألومنيوم ٢٠ د (للسبوكات)
٠,٧٠ -	سبيكة الألومنيوم ١٣ د (للسبوكات)
٠,٦٨ -	سبيكة الألومنيوم ٦ د (للتشكيل)
٠,٦٧ -	الصلب الطرى
٠,٥٥ -	الرصاص
٠,٤٩ -	القصدير
٠,٢٨ -	النحاس الأصفر (سبيكة من النحاس والزنك بنسبة ٦٠، ٤٠ ٪)
٠,٢٠ -	النحاس
٠,١٥ -	الصلب المقاوم للصدأ (١٨-٨)
٠,١٠ -	معدن مونيل (سبيكة أساسها النحاس والتيتال)
٠,٠٨ -	الفضة
٠,٠٧ -	التيتال
٠,٠٤ -	الأنكوفل (سبيكة من التيتال والكروم والحديد)

• الأرقام والرموز الملصقة بسبائك الألومنيوم ، يقتصر قداؤها في هذا الكتاب فقط ، وتدل على سبائك بتركيب كيميائي معين ، ويمكن الرجوع إلى الباب الخامس لمعرفة التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم .

(١) عند اقتران فلزين سويا في محلول موصل ، فإن الفلز الذي يكون جهده القطبي أكثر سالبية في هذا المحلول ، يكون بمثابة المصعد بالنسبة للفلز الآخر ، ومن ثم فهو يعمل كقربان في المحلول . وفي مثل هذه الحالة ، يتكون ما يشبه المركب ، حيث يبدأ تيار كهربائي في السريان من الفلز الأكثر سالبية خلال المحلول إلى الفلز الآخر .

(٢) مقبسا في محلول هيدري (٥.٨٥٪) من محلول كلوريد الصوديوم يحوى على ٠.٣٪ من فوق أكسيد الهيدروجين (١٠ هيدري) .

ويحدث تآكل للألومنيوم عند تلامسه لفترة كافية مع غيره من الفلزات التي تليه في السلسلة الكهروكيميائية ، ويتم ذلك في وجود وسط إلكتروني . وعليه فإنه يمكن مقاومة هذا التآكل الجلفاني ، عن طريق فصل الأسطح المتعاورة باستخدام دهان وقائي مثلا ، وبالحفاظة على جفاف الأسطح المتلامسة ، أو بطلاء الكهربيائي للأسطح ، أو بطلاء المواد الملامسة للألومنيوم بمسحوق الألومنيوم ، وذلك حتى ينعدم أى اختلاف في الجهد القطبي ، بين سطحى الفلزين المتجاورين .

• التآكل الكيميائي :

يمكن تقسيم التآكل الكيميائي إلى ثلاثة أنواع : تآكل منتظم ، وتآكل موضعي ، وتآكل بين البلورات .

(١) التآكل المنتظم :

وتبدو مظاهره في تآكل منتظم للمعدن يشمل كل سطحه ، ويحدث ذلك في المعادن أو السبائك وحيدة الصنف (المعادن النقية ، والمحاليل الجلمدة ، والمركبات الكيميائية) .

(ب) التآكل الموضعي :

ويتآكل أثناء المعدن في مواقع متفرقة من السطح ، ويحدث هذا النوع من التآكل أساسا في السبائك متعددة الأصناف ، لكنه يحدث أيضا في السبائك وحيدة الصنف ، ودرجة أقل في المعادن النقية تجاريا . كما يحدث بسبب الخدوش والخزوز السطحية ، لنشوء ظروف مواتية لتكوين خلايا كهربية متناهية الصغر .

(ج) التآكل بين البلورات :

ويتميز بانتشار التآكل على حدود الحبيبات ، وترجع خطوة هذا النوع من التآكل ، إلى أنه يتغلغل في المعدن دون أن يظهر أى تغير ملموس على السطح ، وتعرض سبائك الألومنيوم لهذا النوع من التآكل ، إذ تنشأ أصناف (أطوار) جديدة لتكون ، وتنتشر على حدود الحبيبات وداخلها ، وتتهوى ظروفها تشجع على حدوث مثل هذا النوع من التآكل .

ويمكن الرجوع إلى الملحق (١) لمعرفة تأثير الكيلويات المختلفة على سبائك الألومنيوم ، وقد سمحت هذه الإرشادات استنادا إلى الخبرة العملية ، أو هي ثمرة تجارب عملية ، وتهدف إلى إعطاء فكرة مبدئية في هذا المجال . ولكن يجب تدعيمها بالتجارب المتواصلة ، لتمييز صلاحيتها ، إذ تتباين ظروف الاستخدام على نحو واسع . فضلا عن الشوائب (سواء المعروفة منها أو غير المعروفة) في الكيلويات المحققة ، قد تسبب التآكل .

وهناك نشاطات لتآكل الكيمياء كسيلكات الصوديوم ، أو كرومات الصوديوم ، يؤدي استخدامها إلى التوسع في استعمال الألومنيوم .

الباب الثاني

إنتاج الألمنيوم

صناعة الألمنيوم من الصناعات الحديثة مرتفعة التكاليف ، وتتمتع على أساليب تكنولوجية متقدمة . كما أن إنتاج الألمنيوم يتوقف أساسا ، وبصفة مباشرة ، على توافر الطاقة الكهربائية ، فلا يمكن أن تقام صناعة للألمنيوم في بلد يفتقر إلى الكهرباء ، أو لا تتوفر فيه الطاقة الكهربائية بمر زهيد ، فالألمنيوم مدين للكهرباء بمكانته الرفيعة ، كإحدى أهميتها لها شأنها .

مراحل إنتاج الألمنيوم

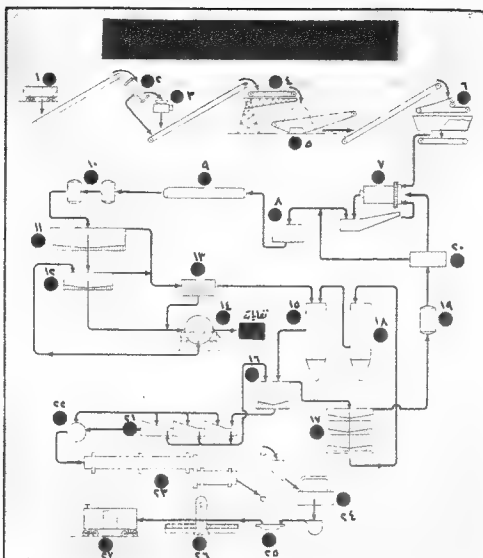
يتم إنتاج الألمنيوم بمراحل متعددة ، وهي تختلف جغريا عن مراحل إنتاج غيره من الفلزات الأخرى ، فصنع الألمنيوم يختلف اختلافا جوهريا عن مصنع الحديد والصلب ، أو مصنع الرصاص ، أو النحاس . كما أن طريقة استخلاص هذا الفلز تختلف كلية عن طريقة استخلاص الفلزات الأخرى .

وتبدأ أول مراحل الإنتاج ، بتجهيز خام الألمنيوم بعد تعدينه وإعداده ليكون مركزا ، حتى تنخفض تكاليف استخلاص الفلز وتصبح اقتصادية . ويتم ذلك بعملية تكبير وطحن ، ثم تصنف أحجامه ، وتركز الأحجام الناعمة بطرق النعم ، أو طرق التركيز الأخرى ، وعندئذ يتم الحصول على الخسام مركزا ، ويكون معدا للمرحلة التالية ، وهي الحصول على أكسيد الألمنيوم (الألومينا) بصورة تكاد تكون نقية ، استمدا لصهره ، ويجرى ذلك بمعالجة الخسام المركز في أوعية هاضمة ، وبإستئانة بموامل كيميائية ، تذيب الألومينا دون غيرها .

وهناك ثلاث طرق مختلفة يمكن تطبيقها للحصول على الألومينا بصورة نقية : الطريقة الأولى كهروحرارية ، أي باستخدام الكهرباء في توليد كمية حرارة هائلة ، تكفي لإتمام تفاعلات كيميائية ، يتفرد خلالها الألمنيوم ، وتعتمد الطريقتان الأخريان على الخاصية الترددية للألومينا ، فالألومينا أكسيد أمفوتوري ، أي متردد ذو وجهين ، يتفاعل مع الحمض كقاعدة ، كما يتفاعل مع القاعدة كحمض ، وأكثر الطريقتين الحمضية والقلوية انتشارا ، هي الطريقة القلوية .

ويبين الشكل (٦) الخطوات التوضيحية للمراحل المختلفة ، ابتداء من الخام ، حتى الحصول على كتل من الألمنيوم النقي .

وتتضمن هذه الخطوات عمليات ميتالورجية فيزيائية وكيميائية ، ابتداء من البند (١) حتى البند (٢٢) (في الشكل) . ويمثل البندان (٩ ، ٢٤) فقط العمليات الميتالورجية الكيميائية



(شكل ٦) المراحل المتعاقبة للعمليات الميثلورجية الفيزيكية والكيميائية للحصول على كتل الألومنيوم ابتداء من خام البوكسيت :

- ١ - عربات سكك حديدية ٢ - منخل (هزاز) ٣ - طاحونة المطارق (الشواكيش)
- ٤ - ناقل ٥ - المخزون الاحتياطي وعط السحب
- ٦ - توزيع الخام على طبقات في البناكو ٧ - طاحونة (الكور) ومصنف
- ٨ - صهرج الردغة (الطينة) ٩ - هاضمات بخارية ١٠ - صهاريج أعتاق الضغط
- ١١ - مغلفات الطينة الحمراء ١٢ - مغلفات ١٣ - مروكبات
- ١٤ - مرصحات ١٥ - مرصبات ١٦ - مرصبات مائية
- ١٧ - مغلف اسطوان ١٨ - صهرج ١٩ - صخر رباطي التآفر
- ٢٠ - صهرج تخزين المحلول الضعيف ٢١ - مصنف لفلل المراحل ٢٢ - مزيلات الماء
- ٢٣ - فلانز دوارة ومبردات ٢٤ - خلايا إلكتروليتيكية ٢٥ - كتل الألومنيوم

في هذه المراحل ، حيث تستخدم أوعية هائضة (٩) تذيب الألومينا في مركب كيميائي يذوب في الماء ، وتحللها الإلكترونية (٢٤) التي تستخدم في التحليل الكهربائي للألومينا للحصول على الألمنيوم في صورته النقية .

ويوجد الأكسيد المتبقى في صورتين : هيدرات ثلاثية (تحتوي على ثلاثة جزيئات من الماء) ، وهيدرات أحادية (جزيء واحد من الماء) . ويمكن التعبير عن الصورتين في صيغة كيميائية كما يلي :

ثلاث الهيدرات : لو_٣أ_٢ ، ٣ يده_٢ ، ويمكن التعبير عنه كهيدروكسيد في الصيغة لو_٣(أيد)_٣ ، حيث يمكنه التفاعل مع الحمض كقاعدة لوجود الشق (أيد) - ، كما يمكن التعبير عنه في الصيغة يده_٣ لو_٣ (حمض الأرترو ألومنيك) ، حيث يمكنه التفاعل مع القاعدة لوجود الشق (يد) + .
أحادي الهيدرات : لو_١أ_٢ ، يده_١ ، ويمكن التعبير عنه كهيدروكسيد في الصيغة يده_١ لو_١ (حمض الميتا ألومنيك) ، حيث يمكنه التفاعل مع القاعدة لوجود الشق (يد) + .
وتتجلى السمة الترددية في التفاعلين الآتيين :



كما يتفاعل أكسيد الألومنيوم لو_٣أ_٢ ، ن يده_١ أ (ن : عدد جزيئات ماء التبلور) عند درجات حرارة مرتفعة مع المركبات الكيميائية المختلفة لفلزات الأقاليم الأرضية ، مكونا الألومينات المناظرة لفلز (ميتا ألومينات) . ويستفاد من هذه الخواص في اتباع الطرق المختلفة لإنتاج الألومينا .

وفي الطريقة الحمضية لإنتاج الألومينا ، يبالغ الخاطم بمحلول أحد الأحماض المعدنية (حمض الكبريتيك يده_٢ كب_٢ أ_٢ ، أو حمض الهيدروكلوريك يده_٢ كل ، أو غيرها) ، وينتج عن ذلك ملح الألومنيوم المناظر للحمض ، وترسب الكتلة الأساسية للشوائب في محلول الحمض دون أن تذوب فيه . وبعد فصل الشوائب غير الذائبة ، يحلل محلول ملح الألومنيوم ، لفصل هيدروكسيد الألومنيوم ، حيث يجري تكليسها للحصول على الألومينا .

وفي هذه الطرق الحمضية ، لا تلوث السيليكا في محلول الحمض المنفذ ، ولذلك تنفصل الألومينا عن السيليكا بسهولة ، وبدرجة كافية نسبيا . إلا أن أكاسيد الحديد والتيتانيوم تنقل جزئيا إلى المحلول مع أكسيد الألومنيوم ، حيث يصعب فصلها للحصول على الألومينا بصورة نقية . ويجب أن تجري الطرق الحمضية في أوعية تصنع من مواد تقاوم تأثير الأحماض ، ولذلك فهي باهظة التكاليف ، هذا إلى جانب صعوبة وتقيد عملية استعادة الأحماض المعدنية المستخدمة ، مما يحد من تطبيق هذه الطرق الحمضية على المستوى الصناعي .

وفي الطرق القلوية يعالج الخام هيدروكسيد أو كربونات الصوديوم ، وقد يضاف الجير أو الحجر الجيري في بعض الأحيان . ونتيجة لذلك ، تتكون ألومينات الصوديوم التي يمكن فصلها بسهولة لغرباتها في الماء دون غيرها ، ثم يتحللها مرة أخرى يمكن الحصول على الألومينا نقيسة .

وفي حالة معالجة النيكلينات الحصول على ألومينات تنوب في الماء ، يمكن معالجة هذا الخام بالجير فقط . ثم يفصل هيدروكسيد الألومنيوم بتدليل ألومينات الصوديوم ، حيث يمكن الحصول على الألومينا ، أما المحلول الكاوي المتبقى فيعاد لاستخدامه مرة أخرى .

وفي الطرق القلوية ، تنفصل بسهولة أكاسيد الحديد والتيتانيوم والكلسيوم التي كانت موجودة في الخام ، وذلك لعدم ذوبانها في المحلول ، أما السيليكا الموجودة في الخام فتتفاعل مع المحلول الكاوي مسببة تعقيد العملية ، كما تؤدي إلى فقد كمية لا بأس بها من الشق الكاوي والألومينا ، بالإضافة إلى لتدهور قيمة الألومينا الناتجة . ولذلك لا تصلح الطرق القلوية لاستخلاص الألومينا من خام البوكسيت ، إلا إذا احتوى على نسبة ضئيلة من السيليكا .

وفي هذه الدراسة ، نقسم المراحل الصناعية المختلفة التي تتعاقب بعضها إثر بعض ، للحصول في النهاية على كل من الألومنيوم النقي على النحو الآتي :

- ١ - خامات الألومنيوم .
- ٢ - العمليات المبتلورة في الفيزيائية في صناعة الألومنيوم .
- ٣ - إنتاج المواد المساعدة في صناعة الألومنيوم .
- ٤ - إنتاج الألومينا .
- ٥ - استخلاص الألومنيوم .
- ٦ - تنقية الألومنيوم .

١ - خامات الألومنيوم

الألومنيوم أكثر الفلزات انتشارا في القشرة الأرضية على الإطلاق ، فقشرة الكرة الأرضية التي تضرب في أعماقها لمسافة تبلغ ١٦ كيلومترا ، تحتوي على ١٠٪ من وزنها من الألومنيوم ، وهو يبلغ من الوفرة ضعف الحديد . ومن الغريب حقا أن يكون الألومنيوم بهذه الوفرة ، ومع ذلك فقد ظل مجهولا ، لم تمتد إليه الأيدي لاستخلائه ، وإشراكه في شتى جوانب الحياة العملية . ويميز السبب في ذلك ، إلى أن الألومنيوم - بشرائه المتناهية للأكسجين - لا يوجد في صورة نقية ، بل يوجد في مركبات كيميائية بالغة التعقيد ، لا يمكن انتزاعها بسهولة . ولقد ظل الأمر كذلك حتى تمكن كل من شارل مارتن هول ، الذي كان يجري تجاربه في كوخه الخشبي المتواضع بإحدى الولايات الأمريكية ، وبول إيلرو على الطرف الآخر من المحيط الأطلسي

بفرنسا ، في وقت واحد ، من استخلاص الألومنيوم من مركباته ، بطريقة أصبحت حجر الأساس للصناعة المتطورة لهذا الفلز الهام ، مما مكن من الحصول عليه بأسعار رخيصة .

وعلى وجه العموم ، فإن جميع الصخور والطفلة المعروفة تحتوي على هذا العنصر ، وهناك أنواع معينة من الطفلة الحمراء تحتوي على نسبة عالية من الألومينا (لو₂أ₃) قد تبلغ ٦٠ ٪ .

وبينما العديد من مركبات الألومنيوم التي توجد في الطبيعة يكون متسا وغير جذاب ، فهناك بعض مركباته التي تتميز ببريق ولحمان جذاب ، والتي تتألق وتحاكي الأحجار النفيسة ، فالياقوت الأحمر الدموي ، والصفيري ، الذي له زرقاة البحر ، والعقيق الأحمر ، والزمرد الأخضر ، ما هي إلا مركبات للألومنيوم .

ولما كانت عمليات استخلاص الفلز من مركباته طويلة ومعقدة ، لذلك فإنه من غير العمل استخلاص الألومنيوم من خاماته الفقيرة . وفي المادة يجري الاستفادة فقط من الخامات التي تحتوي على الألومينا بنسبة تتراوح بين ٥٠-٦٠ ٪ .

وأهم خامات الألومنيوم المعروفة في الوقت الحاضر هي :

البوكسايت ، والتيفلاين ، والألونايت ، والكاولين ، والطفل ، والسايانيت ، والقسيت الكربوليت ، والأندولوسايت ، والكوردنم .

وتوجد أكثر مركبات الألومنيوم متحدة بمنصر السيليكون كشائبة . وأحسن هذه الخامات هي البوكسايت الذي سمي على اسم المدينة « لي بوكس » التي تقع في جنوبي فرنسا ، حيث تم اكتشاف الرواسب الأولى لهذه الخامات التي تستخدم حاليا للحصول على الألومنيوم اللازم للأغراض الصناعية .

البوكسايت :

أهم خامات الألومنيوم التي انتشر استخدامها على النطاق الصناعي انتشارا واسعا ، وهو حمض تتألف من عدة مركبات كيميائية : هيدروكسيد الألومنيوم (المادة الأساسية في البوكسايت) أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد ، وبعض السليكات والكوارتز والكاولينات ومركبات التيتانيوم ، وكربونات الكالسيوم والحديد والمنجنيز ، بالإضافة إلى كيات ضئيلة من مركبات الصوديوم والزركونيوم والكروم والفسفور والثانيوم والجاليوم وغيرها من العناصر . ويختلف التركيب الكيميائي للبوكسايت اختلافا بينا من خام لآخر .

وتعتمد نوعية أي خام معين من خامات البوكسايت على نسبة الألومينا (لو₂أ₃) والسليكا ، وعلى الصيغة الميثالورجية لهيدروكسيدات الألومنيوم . وتزداد جودة البوكسايت بارتفاع نسبة الألومينا وانخفاض نسبة السليكا .

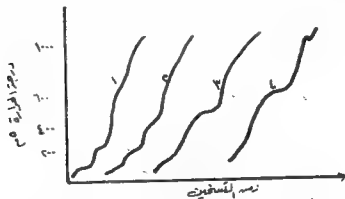
ويوجد البوكسايت بألوان مختلفة تتراوح بين الأبيض الناصع والأحمر القاني ، وفيما بين هذين اللونين ، يمكن أن تصادف بقية الألوان المعروفة . وأكثر أنواع البوكسايت انتشارا هي ذات اللون البني الفاتح ، أو الأحمر الممتلئ (في لون الطوب الأحمر) . كما يتفاوت الوزن النوعي لأنواع البوكسايت من ١,٢ كغ في البوكسايت المسامي الخشن ، إلى ٣,٥ كغ لأنواع البوكسايت

الذى يحتوى على نسبة عالية من الحديد والسليكون . وتتراوح صلادة أنواع البوكسايت من ٢ إلى ٧ (بريتل) . وما يزيد من صعوبة اكتشاف عامة البوكسايت ، اختلاف أنواعه المختلفة بعضها من بعض في المظهر الخارجى ، وفي الصفات الطبيعية ، ولكن البوكسايت يتميز بشبه الكبير بالطفل (الطين الفخارى) ، ولا يكون كتلة صلبة عند اختلاطه بالماء .

ويكن الاختلاف الميتالورجى (المحلى) للبوكسايت عن الطفل ، في أن الألومنيوم في الطفل يكون على شكل الكاولينيت لو_٢أ_٢ ، ٢ س أ_٢ ، ٢ ي_٢أ_٢ وما شابه من سليكات الألومنيوم ، في حين أن الألومنيوم في البوكسايت يكون على شكل هيدروكسيد الألومنيوم ، وأصله هو : البوهميت والدياسبور ، ولهما معا صيغة كيميائية واحدة هي لو_٢أ_٢ ي_٢أ_٢ ، والجيبسايت وصيغته الكيميائية لو_٢أ_٢ ٣ ي_٢أ_٢ . والصورة الميتالورجية لوجود الألومنيوم في البوكسايت أهمية كبيرة عند معالجة كل نوع من أنواع البوكسايت .

لهذا السبب تصنف الأنواع المختلفة من البوكسايت إلى : بوكسايت بوهميتى ، وبوكسايت دياسبورى ، وبوكسايت جيبسايتى ، وبوكسايت مختلط التركيب .

وهناك طريقة بسيطة يمكن استخدامها لتحديد الصورة الميتالورجية لهيدروكسيد الألومنيوم في البوكسايت ، وذلك بواسطة التحلل الحرارى بالتسخين ، لأن المركب الذى تحتوى صيغته الكيميائية على عدد أكبر من جزيئات ماء التبلور ، يسخن سريعا عن ذلك المركب الذى يحتوى على عدد أقل من جزيئات ماء التبلور ، وقد وجد عمليا أن ماء التبلور في الجيبسايت يبدأ في الانفصال عند درجة حرارة ٢٠٢-٢٠٥°م ، وفي حالة الدياسبور عند ٥٠٩-٥٥٠°م ، أما في حالة الكاولينات فتعد ٥٥٨-٦٠٥°م . ويصاحب هذه العملية امتصاص قدر من الطاقة الحرارية يؤدى إلى ثبات درجة الحرارة بعض الوقت ، كما في الرسم البياني في شكل (٧) .



(شكل ٧) منحنيات تسخين بعض مركبات الألمنيوم

- ١- الألوموجيل لو_٢أ_٢ ٣ ي_٢أ_٢ ١ - ٢- الجيبسايت لو_٢أ_٢ ٢ ي_٢أ_٢ ١
- ٣- الدياسبور لو_٢أ_٢ ٢ ي_٢أ_٢ ١ - ٤- الكاولين

التيفلاين :

يمكن التعبير عن تركيبه بالصيغة الكيميائية :

(ص ، بو) P ، A ، لو P ، A ، س P . وهو في الواقع حضور طبيعية أشهرها الأباتايت .
ويجري تركيز عام الأباتايت بطرق التنويم ، وأثناء ذلك يتخلف التيفلاين مع البقايا . وفي أثناء عملية معالجة التيفلاين للحصول على الألومينا ، يتم الحصول أيضا على كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم كنتاجين ثانويين لخام التيفلاين ، وتصل نسبة الألومينا في التيفلاين بعد تركيزه إلى ٣٠٪ فقط ، وهي نسبة ليست عالية ، ولذلك فإنه لولا الحصول على كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم ، والارتفاع بالخلطات كادة أولية في صناعة الأسمنت ، لكانت الطريقة غير اقتصادية .

الألوانايت :

مركب كيميائي يتألف من كبريتات الألومنيوم القاعدية ، بالإضافة إلى كبريتات البوتاسيوم وصيغته الكيميائية هي :

بو P ك A ، لو P (ك A) P ، A لو (أيد P) . وتصل نسبة الألومينا في هذا الخام إلى ٢١٪ ، وهي نسبة منخفضة جدا ، بينما تصل نسبة السليكا إلى ٤٢٪ وهي نسبة مرتفعة للغاية .

الكاولين والففل :

من المعتقد أن الصيغة الكيميائية لهذه الخلطة هي :

لو P ، A ، س P ، A ي P ، بالإضافة إلى بعض الشوائب الأخرى كالسليكا وأكاسيد الحديد والكلسيوم والمنغنسيوم . وتنتشر خامة الكاولين انتشارا واسعا في الطبيعة ، ويمكن استخدامها في صناعة سبائك الألومنيوم مع السيليكون .

السيانايث :

يغل الجزء الرئيس في الخام السيانايثي ، ولاحتوائه على نسبة كبيرة من السليكا ، فهو لا يستخدم حتى الآن للحصول على الألومينا ، بل يستخدم للحصول مباشرة على سبائك الألومنيوم مع السيليكون .

٢ - الصلصات الليتاالورجية القديزية

في صناعة الألومنيوم

الحصول على عنصر الألومنيوم نقيا من خاماته ، يجب أولا تركيز الخلطة المستخدمة حتى تكون عملية استخلاص الفلز مناسبة من الناحية الاقتصادية . ويتم ذلك بفصل بعض الشوائب (أو كلها إذا كان ذلك ممكنا) ، ثم إجراء عملية تنقية إلى تفكك أو تحلل الخلطة المعدنية إلى مكوناتها ومركباتها الكيميائية ، على ذلك الحصول على المركب الكيميائي للألومنيوم منفردا

(المكون الألومنيوم) ، وعندئذ تقرب العملية من نهايتها الحاسمة ، وهي استخلاص الألومنيوم في صورته الفلزية الخالصة ، والتي تم نتيجة عمليات كيميائية معقدة . والعمليات التي تم خلالها معالجة خامة الألومنيوم بطريقة فيزيقية غير مصحوبة بتفاعلات كيميائية ، أي لا تكون مصحوبة بأية تفاعلات كيميائية ، تتناول جوهر المكون الألومنيوم ، تسمى « العمليات الميتالورجية الفيزيقية » . أما العمليات التي تنسم بتفاعلات كيميائية ، فتسمى « العمليات الميتالورجية الكيميائية » .

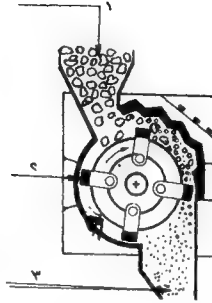
ويمكن فصل بعض الشوائب من الخامة المعدنية ، بالاستفادة من التباين في خواصها الفيزيقية ، كالاختلاف في الأوزان النوعية ، والصلادة ، واللويان في الماء ، أو بتأثير بعض الموامل الكيميائية على سطح الخامة ، التي تؤثر بدورها على قابلية المعدن للتبلل بالماء . وعادة ما تكون هذه العمليات الميتالورجية التي تهدف إلى تركيز الخامة المعدنية ، وخصوصة التكليف ، ولا تحدث أي تغيير في التركيب الكيميائي للمعدن ، كما أنها تكون من ناحية أخرى قاصرة عن استخلاص الألومنيوم بصورته الفلزية النقية .

تركيز خامات الألومنيوم :

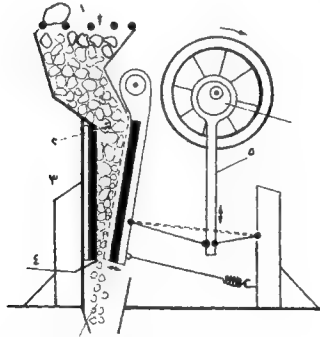
تتناول فيما يلي عمليات تركيز خامات الألومنيوم ، حتى تكون جاهزة لعمليات كيميائية لاحقة ، تسفر في النهاية عن الحصول على الفلز نقياً . تبدأ هذه العمليات الميتالورجية ، فور الحصول على الخامة المعدنية للألومنيوم في كتل كبيرة الحجم ، يجري تمديدها من مناجم تحت الأرض ، أو من مناجم مفتوحة على سطح الأرض . وفي كلتا الحالتين ، تنقب فتحة في الخامة المعدنية بالمنجم ثم توضع فيها شحنة متفجرة ، وبتفجيرها تنفك الخامة المعدنية إلى كتل تتراوح مقاساتها بين ١٢٠٠ و ١٥٠٠ ملليمتر ، ولما كانت العمليات الميتالورجية تتطلب قطعاً دقيقة الحجم (قد تصل مقاساتها إلى ١٠٠ ملليمتر) من الخامة المعدنية ، لذلك فن الضروري اختزال أحجام هذه الكتل الضخمة ، إلى الأحجام الدقيقة المطلوبة ، ويتم ذلك بواسطة الكسارات والطواحين ، وفيها يتم التكسير والطحن ، بواسطة الطرق ، أو الضغط المتتالي ، أو الاحتكاك .

وتقوم الكسارات بتكسير كتل الخامة المعدنية ، كبيرة الحجم ، إلى أحجام متوسطة ، ثم تقوم الطواحين بمد ذلك بطحن هذه الأحجام المتوسطة ، إلى أحجام دقيقة .

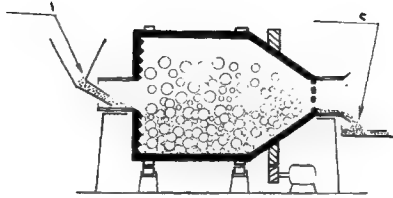
وتستخدم الكسارات المطرقية أو الفكية ، لتكسير كتل الخامة المعدنية إلى أحجام صغيرة . ويوضح الشكل (٨) مقطعاً في كسارة مطرقية (قد تسمى في بعض الأحيان كسارة المطارق أو كسارة الشواكش) ، وفيها يدور المهرّك بسرعة تتراوح بين ٨٠٠ ، و ١٠٠٠ دورة في الدقيقة . ويحدث التكسير نتيجة سقوط المطارق على الكتل وارتطامها بها ، وأيضاً نتيجة ارتداد هذه الكتل بعد اصطدامها بمجرّدان الكسارة . ويوضح الشكل (٩) الكسارة الفكية .



(شكل ٨)
كسارة مطرقية (كسارة الشواكيش)
١ - الشحن
٢ - المطارق (الشواكيش)
٣ - اخمام بعد التكسير



(شكل ٩) كسارة فكية
١ - الشحن
٢ - فلك الكسارة الثابت
٣ - فلك الكسارة المتحرك
٤ - فصلة الكسارة
٥ - مورد الإدارة



(شكل ١٠) طاحونة الكور

٣- انظام المطحون

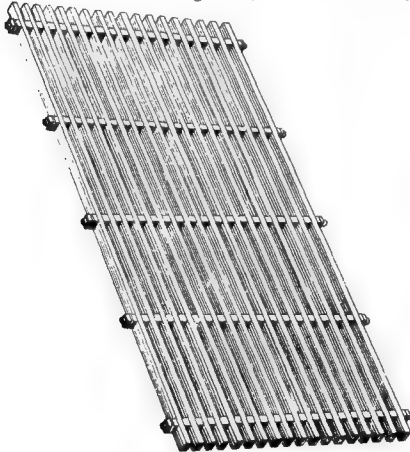
١- الشحن

بعد الحصول على الخامة المدنية لفلز الألومنيوم بأحجام صغيرة ، يجري تصنيفها حجماً حيث تماد الأحجام الكبيرة نسبياً ، ليماد تكسيرها مرة أخرى في الكسارة المطرقية ، أو في الكسارة الفككية ، وتشنن الأحجام الصغيرة ٥٠ مليمتراً في طاحونة الكور ، أو طاحونة القضبان ، لطحنها إلى أحجام دقيقة كالمطلوب . والطاحونة كما هي مبينة بالشكل (١٠) تتكون من هيكل اسطوانى الشكل من الفولاذ ، يطن بألواح من الصلب قابلة للتغيير ، إذا ما لزم الأمر ، وبداخل هذه الأسطوانة الفولاذية الفصخة ، يوجد عدد من الكرات أو القضبان الفولاذية أو قطع من حجر الصوان . وتدخل المواد عند الشحن المستمر من بوابة أفقية هي المركزز الدوراني المخوف لجسم الطاحونة ، وتفرغ المواد المطحونة من الطرف الآخر ، ويفور جسم الطاحونة حول محوره الأفقى ، حيث ترفع الكرات والقضبان الفولاذية لتسقط من ارتفاع معين حتى تسحق قطع الخام . ولابد أن تكون سرعة الدوران مناسبة ، فلا تكون أهل من اللازم ، فتندفع الكرات إلى محيط الطاحونة ، وتتشتت بها بتأثير القوة الطاردة المركزية الناتجة من الدوران السريع للطاحونة ، أو أبداً مما يجب ، فتندرجع الكرات في الجزء الأسفل من الطاحونة ، ويندم دورها . وعلى كل حال ، فهي تتراوح بين ١٢ ، ٤٠ دورة في الدقيقة ، استناداً إلى قطر الطاحونة .

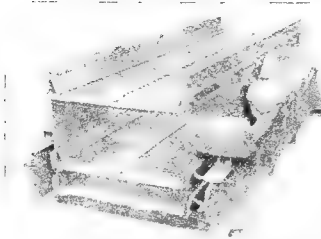
وفي الآونة الأخيرة ، اتجه التفكير إلى استخدام الطواحين ذاتية السحق ، وفيها يستحق عن أجسام السحق مثل الكرات أو القضبان الفولاذية ، وإنما يتم السحق اعتماداً على الاحتكاك الناشئ بين قطع المواد المطحونة نفسها . وهذه الفكرة مناسبة عملياً ، ولها ميزاتاً التي أهمها

تفادى اختلاط مسحوق الحديد الناعم ، الناتج من احتكاك الكريات أو القضبان الفولاذية أثناء عملية السحق ، مع حبيبات الخامة الدقيقة الحجم .
وتجرى عملية الطحن النقيق في وسط سائل ، تفاديا لتكون التبار ، وغالبا ما يستخدم الماء لهذا الغرض .

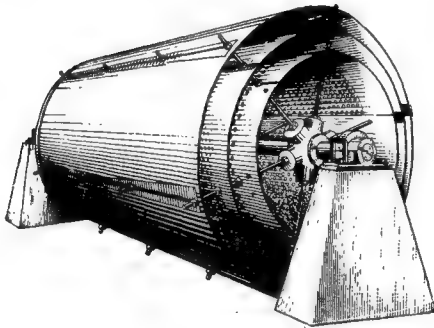
ولما كانت كل مرحلة من مراحل العمليات الميكلورجية تستلزم حجما مينا لخامة المدنية ، كما أنه من ناحية أخرى ، يختلف حجم الخامات المدنية بعد عمليات الطحن تبعا لخواصها من حيث الصلادة والقصفة ، فإن كل مرحلة من مراحل الطحن أو التكسير ، تحتوي على نسبة من البقايا قد تكون من الصغر بحيث تمثل عثا على حصوله الطاحونة لا داعي له . ولذلك فإنه من الأصوب أن تجرى عملية فصل للأحجام ، صغرها عن كبيرها ، بين المراحل المختلفة للتكسير والطحن . وتم هذه العملية بالاستمانة بمجموعة من المناخل .
وتبين الأشكال (١١ ، ١٢ ، ١٣) ثلاثة أنواع من المناخل المختلفة .



(شكل ١١) منخل ذو قضبان



(شكل ١٢) منخل هزاز



(شكل ١٣) منخل اسطوانى

وأبسط هذه الأنواع استخداما فى الصناعة ، المنخل ذو القصبان ، وهو يحتوى على قصبان فولاذية تميل على الأفقى بدرجة تتراوح بين ٣٥ ، ٤٠°. وتحدد المسافة بين القصبان ، حجم الفقائق المطلوبة ولا تقل عادة عن ٢٥ ملليمترًا . وتتسحرج المواد على قصبان المنخل بفعل الجاذبية

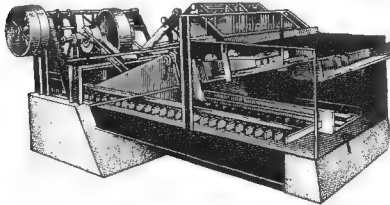
الأرضية ، حيث تسقط المواد صغيرة الحجم خلال الفتحات بين القضبان . وتكاليف المنخل القضبانى صغيرة ، وكفائتها في فصل الدقائق منخفضة .

ويتكون المنخل المزراز من شبكة من أسلاك معدنية تمتد على إطار معدن ، يميل على الأفق بدرجة لا تكفى لتصرج المواد عليه بفعل قوى الجاذبية ، ولكن باهتزازة بطريقة ميكانيكية أو كهرومغناطيسية ، تتصرج هذه المواد ، وتفصل تبعا لأحجامها . ويمكن فصل المواد إلى عدة أحجام ، بوضع عدة شبكات الواحدة فوق الأخرى ، ولكل شبكة فتحات تختلف عن فتحات الشبكة التى تليها ، ويمرر ترتيبها بحيث توضع الشبكة ذات الفتحات الأضيق أسفل التى تليها وهكذا . ويستخدم المنخل المزراز بعد عملية التكسير المتوسط والتاعم . ويمتاز بكفاءة عمل كبير من المنخل القضبانى .

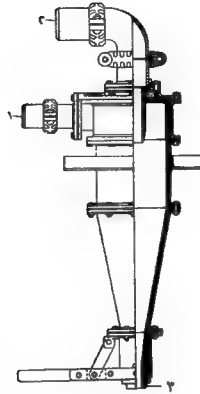
ويتكون المنخل الأسطوانى من شبكة أسطوانية الشكل يميل محورها قليلا على الأفق ، ويمكن أن تدرج المواد إلى أحجام مختلفة باستخدام شبكات أسطوانية متحدة المحور ، ولها فتحات مختلفة ، بحيث تصفىق الفتحات بالاتجاه إلى الخارج ، حيث تكون الشبكة الخارجية أضيق الفتحات .

التصنيف المبتل :

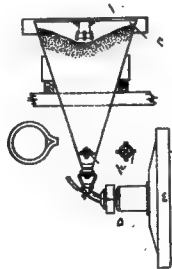
يتميز استخدام المناخل التى سبق وصفها في أغراض التصنيف الجسمى لحبيبات الخامة المعدنية ذات الأحجام الدقيقة ، إذ تميل هذه الدقائق إلى التجمع في كتل تبدو كبيرة ، كما قد تكون غبارا . ولهذا يمرر التصنيف الجسمى لهذه المواد الدقيقة في وسط سائل حيث يكون لهاها ، ويعرف هذا النوع من التصنيف بالتصنيف المبتل . وتعتمد فكرة التصنيف المبتل ، على مبدأ ترسب الدقائق الكبيرة (الأثقل) من اللباب بسرعة أكبر من ترسب الدقائق الصغيرة (الأخف) . والمصنف الذى يعمل في وسط مائل (وسط مائى) ، وهاء يعمل بلباب المواد التى يراد تصنيفها ، ويتم الشحن بصفة مستمرة ، حيث ترسب المواد السريعة الهبوط إلى المصنف ، بينما



شكل (١٤) مصنف دمر



(شكل ١٥) مصنف سيكلونى :
 ١ - التنفذية
 ٢ - الفيض
 ٣ - التخلص من المواد العالقة



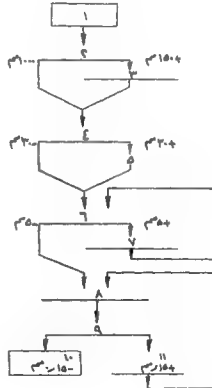
(شكل ١٦)
 مصنف مخروطى يعمل فى دائرة مغلقة مع
 طاحونة السكر :
 ١ - التنفذية
 ٢ - الفيض
 ٣ - حاجز
 ٤ - طاحونة السكر
 ٥ - التبريد

تصاب البقايا الصغيرة محمولة مع التيار المتدفق الباب . وبانخفاض سرعة الباب خلال المصنف ، ترسب كيات أخرى من المواد المعلقة ، ولا تبقى إلا المواد الدقيقة ، فظل معلقة في ماء الفيض . وهناك عدة أنواع من المصنفات يمكن استخدامها لهذا الغرض ، مثل مصنف دور ، الشكل (١٤) ، والمصنف السيكلوني ، الشكل (١٥) . كما يمكن أن يقرن أحد المصنفات المبجلة بطاحونة في دائرة مغلقة ، كما في الشكل (١٦) ، الذي يوسع اقتران المصنف المخروطي بطاحونة الكور ، حيث يجري طحن الخامة المعدنية ، ثم دفعها خلال فتحة التفريغ إلى المصنف المخروطي الذي يقوم بتصنيفها وإعادة الجسيمات الكبيرة منها إلى الطاحونة لطحنها مرة أخرى ، وهكذا . ويتكون المصنف المخروطي من وعاء مخروطي قاعدته إلى أعلى . وتتجمع المواد الكبيرة الحجم في الجزء الأسفل (عنق المخروط) حيث تفرغ بجهّاز خاص . وتطفر الجسيمات النقيقة الحجم مع السائل ، ثم تخرج خلال قناة مفتوحة في أعلى المخروط . وهذا النوع من المصنفات سهل التصميم ، ولا يحتوي على أجزاء متحركة ، ولكن في مقابل ذلك فإن كفاءته دون المطلوب . ويبين الشكل (١٧) رسماً توضيحياً لخطوات التبعة التي يتعرض لها الخام بعد تعديته من المناجم ، ويتضح من الرسم ، أن الطاحونة والمصنف تكون في دائرة مغلقة واحدة .

شكل (١٧)

رسم توضيحي يبين توالى عمليات تكسير ، وطحن وتصنيف الخامة المعدنية للألومنيوم :

- ١ - الخامة المعدنية للألومنيوم
- ٢ - منطل ذو قضبان
- ٣ - عملية التكسير الابتدائية
- ٤ - منطل هزاز
- ٥ - عملية التكسير المتوسطة
- ٦ - منطل هزاز دقيق
- ٧ - عملية التكسير الدقيقة
- ٨ - الطعن
- ٩ - عملية التصنيف الحجمي
- ١٠ - الفيض
- ١١ - النفايات المتخلفة



وبالحصول على الحامة المعدنية للألومنيوم في صورة جسيمات دقيقة الحجم ، تصبح جاهزة الخطوة التالية وهي عملية التركيز .

أساليب تركيز الحامة المعدنية :

لا تؤدي عملية تركيز الحامة المعدنية إلى حدوث أي تغير في الخواص الكيميائية أو الفيزيائية الأساسية للحامة ، ويختصر الهدف من هذه العملية الميتالورجية ، في التخلص من بعض الشوائب غير المرغوب فيها ، فزاد بما لذلك نسبة الألومنيوم في الحامة المعدنية .

وهناك العديد من الطرق المختلفة التي يمكن تطبيقها لتركيز الحامة المعدنية للألومنيوم ، منها طريقة التعميم ، وطريقة التركيز حسب الثقل النوعي .

وفيما يلي وصف تفصيل لطريقة التعميم لتركيز حامة الألومنيوم .

يعد الحصول على الباب يحوى الحبيبات الدقيقة الحجم من حامة الألومنيوم ، تضاف إليه كيات قليلة جدا من عوامل التعميم (عوامل الطفو) اللازمة ، ويقبل الباب جيدا بواسطة قلابات ميكانيكية ، ويدفع خلاله تيار من الهواء الجوى ، الذى ينتشر على هيئة فقاعات صغيرة خلال كل الباب . وتتعلق هذه الفقاعات بالقائى الصلبة للمعادن التى أصبحت غير قابلة للبلل ، بتأثير عوامل التعميم فتقل كثافتها وتطفو على سطح الباب .

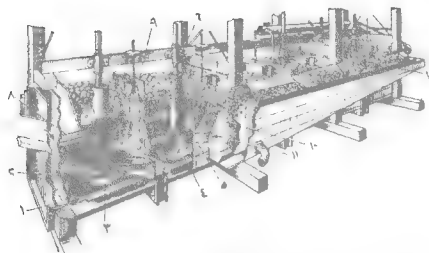
وعوامل التعميم هي في الواقع مركبات عضوية أوزانها الجزيئية كبيرة ، منها أملاح حمض الساتيك (أملاح السانثينات) . والأحماض الكربوكسيلية وأملاحها . ومن خواص هذه العوامل الالتصاق بمركبات أحد العناصر دون غيرها ، مكونة طبقة رقيقة على سطح المركب (المعدن) ، وعليه تتشبع فقاعات الهواء بأسطح حبيبات هذا المركب دون المركب الآخر ، فينشأ تباين في كثافة المركبات الكيميائية التى تؤلف الحامة المعدنية للألومنيوم ، فيطفو بعضها إلى سطح الباب ، بينما يظل بعضها الآخر مستقرا في القاع . ولكن يسهل تجميع الحبيبات الطافية بسهولة ، تضاف بعض الرغويات التى من شأنها التمسك بهذه الحبيبات ، وخفض التوتر السطحي للماء . والرغويات هي في الواقع مركبات عضوية مختلفة مثل الزيوت ، والصابون ، والراتنجات (الأصماغ) .

وقد تضاف بعض المواد غير المضوية لتنشيط أسطح الحبيبات المطلوب فصلها بالطفو ، حتى يزداد استمداها لتقبل المواد المضوية السابق ذكرها .

ومن الواضح أنه من الممكن أن تكون المادة المطلوبة هي التى تطفو ، أو العكس . وتعمل مكنة التعميم بصفة مستمرة ، حيث يشحن الباب داخل المكنة دون انقطاع ، وتمرغ التوائج بصفة مستمرة .

وبين الشكل (١٨) إحدى وحدات التعميم الميكانيكية ، وهي تتكون من خزان على شكل متوازى المستطيلات ، يمرى تقسيمه بفواصل عرضية إلى عدد من الخلایا . ويشحن الباب خلال

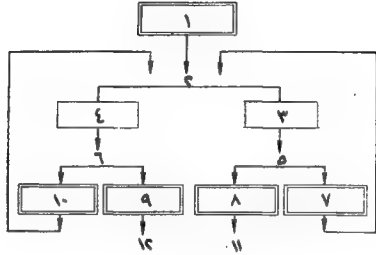
الفتحة (١) حيث ينساب إلى الخلية الأولى عبر الأنبوبة (٢) ، ويجرى تقليبه بشدة بواسطة قلاب سريع الحركة (٣) وتغطى من أعلى بالقرص (٤) . وينتفع الهواء بالسحب خلال الأنبوبة (٥) خلال الفتحة (٦) ، فيختلط الباب مع الفقاعات الصغيرة للهواء ، ثم يرفع فوق الشبكة (٨) . وينتقل الباب من الخلية الأولى إلى صندوق أوسط عبر عارضة التوجيه (٩) ، وهكذا يمر الباب والرغوى خلال جميع الخلايا في المكنة . حيث تزال الرغوى بواسطة أذرع متحركة (٧) . أما النفاية فتفرغ باستمرار من الخلية الأخيرة . وتسحب الرغوة بواسطة أدوات القشط إلى قنوات جانبية مفتوحة (١٠) . وعندما يراد إعادة التعميم بفرض التنظيف ، تمرر الرغوة في القنوات الجانبية حيث تمديد ثانية إلى الخلايا المخصصة لها عبر الأنايب (١١) . ويوضح الشكل (١٩) رسماً توضيحياً مبسطاً لخطوات عملية التعميم .



شكل (١٨)

وحدة تقوم ميكانيكية تستخدم في عمليات تركيز الخامات المعدنية للألومنيوم :
(أ) شحن الباب (الخامة المعدنية مع المساء) .

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| ١ - فتحة لاستقبال شحنة الباب | ٢ - أنبوبة |
| ٣ - قلاب سريع الحركة | ٤ - قرص |
| ٥ - أنبوبة توصيل | ٦ - فتحة تمر خلالها الهواء |
| ٧ - أذرع لإزالة الرغوى | ٨ - شبكة |
| ٩ - عارضة توجيه | ١٠ - قنوات جانبية مفتوحة |
| ١١ - أنابيب توصيل | |



شكل (١٩)

رسم توضيحي يبين الخطوات المتعاقبة التي تتم خلال عملية تعويم تهدف إلى تركيز الخامة المعدنية للألومنيوم :

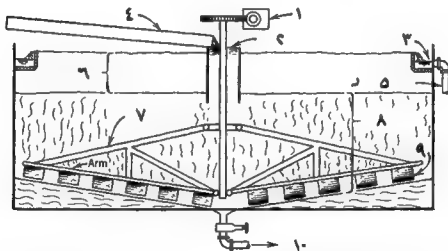
- | | |
|---|--------------------------------------|
| ١ - لباب الخامة المعدنية | ٢ - عملية التعويم الرئيسية |
| ٣ - رغاوى مزالة | ٤ - لباب الخامة المعدنية بصورة مركزة |
| ٥ - عملية تعويم إضافية بهدف التنقية | ٦ - عملية تعويم للمراجعة |
| ٧ - لباب | ٨ - خامات معدنية مركزة |
| ٩ - نفايات | ١٠ - رغاوى |
| ١١ - إلى عمليات ميتالورجية لاحقة لتفليظ الخامة المعدنية | |
| ١٢ - نفاياتات يجرى التخلص منها | |

استعادة الخامة المعدنية بعد تركيزها من اللباب :

نتيجة لعمليات التركيز السابق ذكرها ، نحصل على اللباب على هيئة عجينة مشبعة بالماء ، ويكون اللباب محتويا على ركاز غام الألومنيوم ، وقبل إجراء العمليات الميتالورجية الكيميائية التالية لهذه العملية ، خاصة تلك التي تجري عند درجات حرارة مرتفعة ، يلزم فصل الماء من اللباب ، للحصول على ركاز أنغام جافا تماما .

وتستخدم لهذا الغرض ثلاث طرق مختلفة هي التخليط ، والترشيح ، والتجفيف . وفي عملية التخليط يمكن خفض نسبة الماء في اللباب إلى ٤٠-٥٠٪ فقط . أما في عملية الترشيح فيمكن خفض نسبة الماء إلى ١٠٪ فقط . ويستخدم الرقود في إجراء عملية التجفيف ، إلا أن ذلك لا يضيع بهاء ، إذ يمكن التخلص من الماء كلية بهذه الوسيلة .

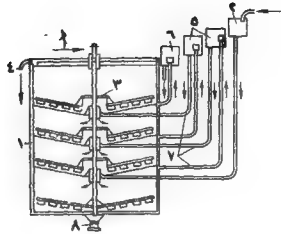
وهناك عدة أنواع من المفلطات التي تستخدم لهذا الغرض ، أهمها المفلط مركزي التوزيع (شكل ٢٠) ، والمفلط متعدد الأحواض (شكل ٢١) .



شكل (٢٠)

مفلط مركزي التوزيع

- | | |
|-----------------|--|
| ١ - جهاز إدارة | ٧ - التغذية (شحن الحطام المدنية المركزة) |
| ٢ - قناة الفيض | ٨ - مصب التغذية |
| ٣ - محلول الفيض | ٩ - منطقة (أ) تحوي سائلا راتقا |
| ٤ - آلية الجرف | ١٠ - منطقة (ب) |
| ٥ - ريشة | ١١ - تصريف الكدارة الفلطة القوام . |



شكل (٢١)
مغلظ متعدد الأحواض
(١) شحن الباب

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| ١- هيكل الخزان | ٢- خزان مياه الغسيل |
| ٣- مصيدة | ٤- أنبوبة الفريز |
| ٥، ٦- خزانات لإعادة المحاليل | ٧- أنابيب التوصيل |
| ٨- فتحة تفريغ الراسب | |

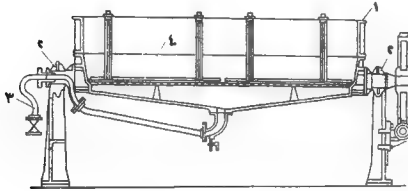
ويتم التليظ بترسيب حبيبات ركاز الحام ، ويمكن التجميع بعملية الترميب ، بإضافة مواد مجمعة تعمل على تجميع الحبيبات بعضها إلى بعض . ومن هذه المواد الهجمة الجير الحى وبعض الراتنجات . وينفصل الماء المكون الباب راتفا .

ويتكون المغلظ مركزى التدوير من خزان أسطوانى (٤) يصل قطره فى بعض الأحيان إلى ١٠٠ متر . ويشحن الباب داخل الخزان باستمرار خلال قن الشحن (١) الذى يتحد محوره مع محور الخزان ، حته مستوى قناة الفيض (٣) . وترسيب الحبيبات الفقيقة من الباب ، تتكون طبقة راتفة من الماء تتدفق باستمرار فى القناة . وترسيب الحبيبات على القاع المخروطى الذى يميل قليلا فى اتجاه المحور (كما فى الشكل ٢٠) حيث يوجد جهاز التفريغ . وتكشط الحبيبات المترسبة من الجوانب إلى المحور ، بواسطة مجارف ميكانيكية .

ويتكون المغلظ متعدد الأحواض من عدة أحواض ترسيب ، يوضع الواحد منها فوق الآخر ، كما فى الشكل (٢١) .

وفي عملية الترشيع ، يمكن الحصول على الحبيبات الدقيقة ، بإفناذ السائل راتقا خلال أقشة مسامية تمجيز الدقائق الصلبة . ويتكون قماش الترشيع من نسج طبيعي قطر أو صوفى ، أو مصنوع من الألياف الاصطناعية . ويتم اختيار القماش على أساس ثباته كيميائيا في وسط من السوائل التي يراد ترشيحها . وتعتمد سرعة الترشيع وإنتاجية المرشحات على مقدار الفرق في الضغط ومقدار الضغط المفقود خلال مسام المجينة وقماش الترشيع ، وكلما ازدادت المجينة المترسبة سمكا ، قلت سرعة الترشيع ، ويحدث نفس التأثير عندما تغطي الجسيمات المترسبة مسام قماش الترشيع .

ولزيادة كفاءة المرشح وسرعة الترشيع ، تستخدم مرشحات تعمل بالتفريغ (الخلخلة) ، حيث يكون هناك فرق في الضغط بواسطة الخلخلة في جميع المواد المرشحة والمرشحات ، وأحد هذه المرشحات هو مرشح نووتش ، المبين في الشكل (٢٢) .



شكل (٢٢) مرشح نووتش

٢ - مرفكردوران

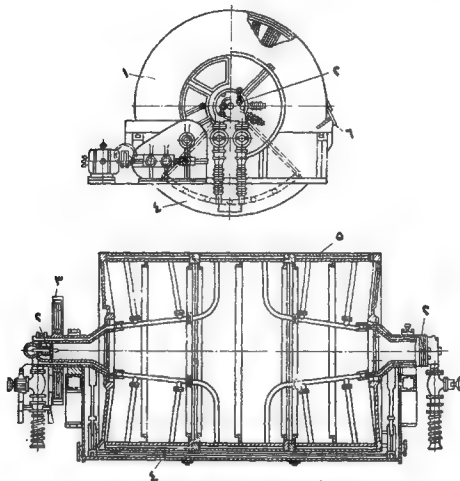
٤ - قاع وهي

١ - عزازن

٣ - ماسورة التفريغ

وبين الشكل (٢٣) رسما توضيحيا لمرشح أسطوانى بالتفريغ ، وهو يتكون من أسطوانة خلخلة ذات ثقب ، تغطي بقماش الترشيع ، وتثبت أفقيا بحيث تدور حول محورها الأفقى . وتنقسم الأسطوانة من الداخل طوليا إلى عدد من الغرف ، يتصل كل منها بواسطة أنابيب وبصمام منزلق ، ويوصل الحوض عند دوران الأسطوانة بمضخة تفريغ الهواء . وعند التشغيل ينطى ثلث أو ربع الأسطوانة الأسفل بالباب . وتدور الأسطوانة بمعدل يتراوح بين ١٣-٢ لفة في الدقيقة ، فتترسب الدقائق الصلبة على القماش ، سكونة عجيبة يتراوح سمكها بين ٦ و ١٥ سم ،

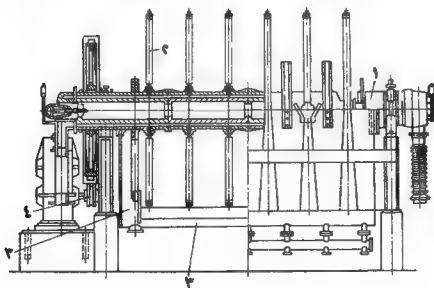
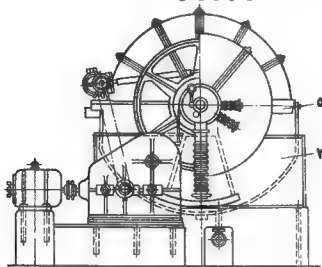
ويتمدد السائل رائقا خلال القماش ، وبعد ذلك يعمل التفريغ (الفرق بين الضغطين على جانبي القماش) على تخليص المجبة مما تبقى بها من السائل . وقد تغسل المجبة عندئذ يرشها بتيار من رذاذ الماء . وفي النهاية يوصل الصمام بهواء مضغوط يعمل على دفع المجبة بعيدا عن القماش فتقع منشقة في اتجاه القناع المائل حيث يمكن جمعها .



شكل (٢٢) مرشح اسطواني بالتفريغ

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| ١- هيكل اسطواني | ٢- صمام التفريغ |
| ٣- ذراع تدوير | ٤- عزان |
| ٥- شبكة مكعبة بقماش ترشح | ٦- مكين لإزالة الراسب المتكون |

والمرشحات القرصية النواوة (الشكل ٢٤) تتشابه مع المرشحات الأسطوانية في مبدأ تشغيلها ، ولكنها تختلف عنها في أن قاش الترشح يكون مشبكا ، إذ يجري تثبيته حل أقراص تتألف من قطاعات منفصلة . وتوجد على سطح القطاعات الخشبية أو المعدنية مجار ترتبط بأنبوبة تصريف السائل عند المحور المركزي . ومن خلالها ترتبط مع الصمام المنزلق ، ويجرى كشط العجينة المتكونة في أوعية مائلة من كل قرص حل حدة .



شكل (٢٤) مرشح قرصي دور

٢ - أقراص (يجري تفريغها بسحب الهواء)

٥ - جهاز لإزالة الراسب المتكون

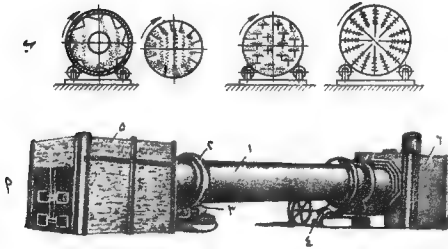
٤ - ذراع التلوير

١ - محرك

٣ - حزان

التجفيف :

يمكن التخلص من الماء بتغييره بواسطة التجفيف ، ويتم ذلك في فرن دوار كما في الشكل (٢٥) ويكون هذا الفرن أساسا من أنبوبة أسطوانية تصنع من الفولاذ طولها ٨-١٢ مترا ، وقطرها ١,٥-٢ مترا . وتعمل هذه الأنبوبة على الألفي بزاوية ١-٢° ، وتقوم الأنبوبة بحمل ٢-٨ دورات في الدقيقة ، وتثبت بداخل جسم الأنبوبة عوارض توجيه ، تعمل على قلب المواد لدى دورانها . وتضمن المادة التي يراد تجفيفها ميكانيكيا ، وتتساقط في أثناء دوران الفرن على العوارض ، وتتحرك تدريجيا تجاه الطرف الآخر للفرن . وتتدافع غازات التسخين الناتجة من احتراق الوقود في اتجاه يضاد حركة المواد ، وهذه الكيفية يمكن التخلص من الرطوبة بالمعجينة بكفاءة عالية .



شكل (٢٥) فرن تجفيف دوار

(١) منظر عام للفرن

- | | |
|----------------------------|--|
| ١ - المحرك الاسطوانى للفرن | ٢ - حلقة دورانية تدور خلالها اسطوانة الفرن |
| ٣ - اسطوانات دحرجية | ٤ - جهاز نقل الحركة |
| ٥ - الفرن | ٦ - الشاحن |

(ب) قطاعات في الموارض المختلفة الموجودة بالفرن

٣- إنتاج المواد المساعدة في صناعة الألمنيوم

(١) إنتاج الكريوليت :

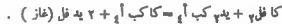
يتم الحصول على الألمنيوم فلزا غالبا نفيا ، بالتحليل الكهربائي لمصهور أكسيد (الألومينا) بعد تركيزه وتنقيته . ولكن ارتفاع درجة حرارة انصهار أكسيد الألمنيوم ، تجعل تكاليف عملية التحليل غير اقتصادية ، ويعمل ذلك دون استخدام مصهور الألومينا منفردا ، مما أدى إلى البحث عن وسط مناسب لتحليل الكهربائي (الكتروليت) ، وقد وجد أن استخدام الكريوليت كامل صهور يساعد كثيرا على خفض درجة حرارة انصهار الألومينا ، مما جعل عملية استخلاص الألمنيوم مناسبة من الناحية الاقتصادية .

والكريوليت مركب كيميائي يتألف من فلوريد ثنائي للألمنيوم والفلوريدوم يشبه الجليد في مظهره ، وكلمة « كريوليت » ينشأ في اليونانية « الصقيع » و« الحجر » لشبه الكبير بهما .

ويوجد الكريوليت طبيعيا في أرجاء متفرقة من العالم ، إلا أنه لا يعرف في الوقت الراهن ، سوى مصدر وحيد للحصول تجاريا على هذا المركب الكيميائي ، ويقع هذا المصدر بمنطقة إيفجنت على الشاطئ الغربي لجزيرة جرينلاند ، حيث تتوفر كميات كبيرة من الكريوليت الصالح للاستخدام صناعيا .

ونظرا لارتفاع سعر الكريوليت وصعوبة استيراده ، يحصل عليه حاليا ، وكذلك على مكوناته فلوريد الألمنيوم (نوفل ٣) ، وفلوريد الصوديوم (ص فل) ، من الفلورسبار بطريقة اصطناعية .

والمحصل على الكريوليت اصطناعيا ، يجري تركيز الفلورسبار الطبيعي بالطرق المبتلجية الفيزيائية المختلفة للحصول على خام مركز يحتوي على فلوريد الكالسيوم (كافل ٢) بنسبة تصل إلى ٩٦٪ . ومن هذا الخام المركز ، يمكن الحصول على الكريوليت وعلى غيره من أملاح الفلور بالطرق الحمضية ، كما في الشكل (٢٦) ، حيث يسخن الفلورسبار بعد خلطه بمحلول الكبريتيك تحت درجة حرارة ٢٠٠°م ، في أفران أنبوبية دوارة ، فيتولد غاز فلوريد الهيدروجين (يد فل) ، وتتكون كبريتات الكالسيوم ، تبعا للتفاعل التالي :



ويتفاعل جزء من فلوريد الهيدروجين (يدفل) مع السليكا ، وينتج من هذا التفاعل تكون المركب سيليكو فلوريد الهيدروجين (يد فل) طبقا للتفاعل التالي :

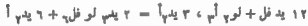


الخطوة الثانية : س فل + ٢ يد فل = يدس فل

إدماج الخطوتين معا : س.أ.٦ + ٢ يد فل = يدس فل + ٢ يد أ
وتجرى الخطوة الثانية عادة خارج الفرن ، حيث يتم الحصول على محلول حمض الهيدروفلوريك (يد فل) مختلطا بقليل من حمض الهيدروكلوريك (يدس فل).
وتضاف كربونات الصوديوم إلى حمض الهيدروفلوريك لتنتجته ، ويؤدي ذلك إلى تكون المركب سيليكو فلوريد الصوديوم (يتم بأنه شحج الذوبان في الماء) ، كما في التفاعل الآتي :
$$\text{يدس فل} + \text{ص.ك أ} = \text{ص.س فل} + \text{يد أ} + \text{ك أ}$$

الذي ينتج عنه ترسيب المركب سيليكو فلوريد الصوديوم ص.س فل، وبذلك يمكن التخلص من السيليكا الموجودة بالحام .

وبعد تنقية حمض الهيدروفلوريك ، تذاب فيه كمية محسوبة من الألومينا ثلاثية الهيدرات (لوف.أ ، ٣ يد أ) كما في التفاعل التالي :



وتجرى معادلة حمض الهيدروفلوريك (يدس لوف.فل) الناتج من هذا التفاعل في نفس الجهاز ، بإضافة كربونات الصوديوم للحصول على الكريولايت الشحج الذوبان في الماء ، ويضع التفاعل للمعادلة التوضيحية الآتية :



ويمكن كتابة الصيغة الكيميائية للكريولايت ص.لوف.فل على هيئة مركب مزدوج لفلوريد الصوديوم والألومنيوم ، أي هكذا : (لوف.فل ، ٣ ص فل) .

بعد ذلك يتم فصل الكريولايت الذي يكون قد ترسب لذوبانه الشحج في الماء حيث يفصله ويحفظ عند درجة حرارة ١٦٠° م .

وإذا كان الهدف هو الحصول على أملاح الفلور الأخرى مثل فلوريد الألومنيوم لوف.فل، أو فلوريد الصوديوم ص فل ، فيمكن الحصول عليها بمعاملة حمض الهيدروفلوريك للمادته بهيدروكسيد الألومنيوم ، أو بكربونات الصوديوم على الترتيب :



وتتولى عمليات إنتاج الكريولايت بالطريقة الحمضية على عدة أخطار جسيمة ، إذ يتم فلوريد الهيدروجين يد فل ، وحمض الهيدروفلوريك يدس فل ، بسمية عالية يجب الوقاية منها ، كما تستلزم استخدام أجهزة تقاوم الأحماض ، مما يزيد من تكاليف العملية .

رسم توضيحي يبين العمليات المتعاقبة لإنتاج الكريوليت اصطناعيا بأسلوب حمض :

- ١ - حمض كبريتيك
- ٢ - فلورسبار طبيعي مركز
- ٣ - عملية الطحن
- ٤ - عملية التجفيف
- ٥ - خلط وكاز الفلورسبار مع حمض الكبريتيك
- ٦ - الباب الناتج (فلورسبار + حمض كبريتيك) .
- ٧ - شحن الباب في فرن دوار يعمل عند درجة حرارة ٢٠٠ م°
- ٨ - كبريتات كلسيوم (جبس) يمرى التخلص منها كنفاية
- ٩ - تنقية الغازات المتكونة - معظمها غاز فلوريد الهيدروجين
- ١٠ - عملية امتصاص غاز فلوريد الهيدروجين بواسطة الماء لتكوين حمض الهيدروفلوريك.
- ١١ - ماء يستخدم في امتصاص غاز فلوريد الهيدروجين
- ١٢ - حمضا الهيدروفلوريك، والهيدروكلوريك.
- ١٣ - التخلص من السليكا
- ١٤ - صودا مخمصة
- ١٥ - جهاز فصل السائل عن الباب
- ١٦ - لباب
- ١٧ - عملية الترشيع
- ١٨ - حمض الهيدروفلوريك
- ١٩ - عملية التجفيف
- ٢٠ - الخطوة الأولى في إنتاج الكريوليت
- ٢١ - هيدروكسيد الألومنيوم
- ٢٢ - الخطوة الثانية في إنتاج الكريوليت
- ٢٣ - غسل الناتج
- ٢٤ - مركب سليكوفلوريد الصوديوم
- ٢٥ - عملية الترشيع
- ٢٦ - ماء يضاف لفصل الناتج
- ٢٧ - عجينة الكريوليت
- ٢٨ - عملية تجفيف عجينة الكريوليت
- ٢٩ - محلول به شوائب يمرى التخلص منه
- ٣٠ - الكريوليت الناتج

وهناك طريقة أخرى قاعدية يمكن تطبيقها للحصول على الكريوليت ، وتتلخص فكرتها في تليد الفلورسبار مع كربونات البوتاسيوم والسليكا غير المتبلورة . وتحتوى الكتلة المليدة الناتجة على فلوريد البوتاسيوم (بوفل) القابل للذوبان في الماء . ومن الممكن معاملة هذه الكتلة المليدة لترسيب بلورات فلوريد الصوديوم (ص فل) بإضافة كربونات الصوديوم . ويرسب الكريوليت الصوديوى بإضافة بلورات فلوريد الصوديوم إلى محلول الألومينات . وتنفذ في كل هذه العمليات إجراءات الأمان ، حتى لا تتصاعد أو تتولد أية غازات سامة تشكل خطرا على صحة العاملين .

(ب) إنتاج الإلكتروليتات الكربونية بمواد الأنود :

لإنتاج الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا ، تسبلك كيات من الموادالكربونية التي تستخدم في تطيين الخلايا الإلكتروليتية وتكون بمثابة كاثود (مبط) للخلايا في نفس الوقت ، إلى جانب مواد كربونية يصنع منها أنود (مصعد) الخلايا ، هذا بالإضافة إلى أنواع كربونية تستخدم في تطيين الجدران الجانبية لغرض تجميع الألومنيوم .

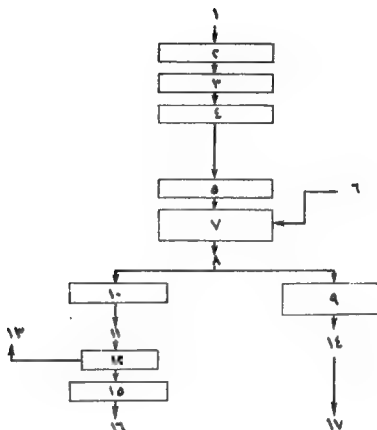
ولإنتاج هذه المواد الكربونية التي تستند وتستبدل بها غيرها ، يجب أن تصنع من مركبات كربونية تحتوي على أقل قدر من الرماد ، وإلا فإنه يتخلف عنها عند استهلاكها ، ويدخل في تركيب الألكتروليت المنصهر ، ومن ثم يسبب تلوث الألومنيوم الفلزى .

بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن تكون هذه المنتجات الكربونية بمثابة كافية فلا تقل مقاومتها للضغط عن ٢٥٠ كجم / سم^٢ ، كما يجب أن تكون كثيفة فلا تزيد المسامية بها على ٢٥ ٪ .

ويستخدم نوعان من المواد الأولية في إنتاج الأقطاب الكهربائية (الإلكتروليتات) هما المادة الكربونية الصلبة التي يجهز منها قوام القطب الكهربائي ، والمادة اللاصقة التي تجمع سبيبات المادة الكربونية في جسم صلب .

ومن المواد الصلبة التي يمكن استخدامها ، الأنواع الجيدة من فحم الأنثراسيت ، وفحم الكوك البترولى أو القارى ، اللذان يتخلفان عن عمليات تكرير البترول الخام ، أو بقايا تقطير الفحم الحجري . وهذه المواد جميعا تمتاز بانخفاض نسبة الرماد بها ، فهي لا تزيد على ٠.٠٤ ٪ . ومن المواد اللاصقة التي يمكن استخدامها القطران ، وهو نتاج مرحلة متوسطة عند تقطير قار الفحم الحجري .

ومثل الشكل (٢٧) رسما توضيحيا لخطوات تصنيع هذه المواد الكربونية ، وفيها يطحن فحم الأنثراسيت أو فحم الكوك البترولى أو القارى إلى أحجام ٣٠-٥٠ مم في طواحين مناسبة (انظر العمليات الميتالورجية الفيزيائية) ، ثم تدخل الأحجام المناسبة أفراخ تمحيص دوارة ، أنبوبية الشكل ، لتجفيفها أثناء عملية تقطير إتلافية جزئية عند درجة حرارة ١٣٠٠ م° ،



شكل (٢٧)

رسم توضيحي يبين الخطوات المتعاقبة عند تصنيع المواد الكربونية اللازمة في صناعة الألمنيوم :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| ١ - مواد كربونية صلبة | ٢ - عملية التكسير |
| ٣ - تجميع المواد الكربونية بعد تكسيدها | ٤ - طحن المواد الكربونية المخصصة |
| ٥ - التصنيف | ٦ - مواد لاصقة (قطران) |
| ٧ - إضافة المواد اللاصقة والخلط | ٨ - المادة الكربونية الناتجة |
| ٩ - الصب في قوالب تشكيل | ١٠ - الكبس إلى الأشكال المطلوبة |
| ١١ - الإلكترونات الخضراء | ١٢ - تجميع الإلكترونات الخضراء |
| ١٣ - مواد طيارة | ١٤ - قوالب كربونية |
| ١٥ - فحص (تفتيش) المنتجات الكربونية | ١٦ - الإلكترونات بصورتها النهائية |
| ١٧ - إلى الأنودات المستمرة | |

حيث تصاعد المواد الطيارة من القمع فلا تزيد نسبتها المتبقية على ٠,٢٪ . وأثناء التحميص تزداد متانة المواد الكربونية ، وموصليتها للكهرباء . وبعد التحميص ، تطحن المواد الكربونية ثم تنخل لتصنيفها تبعا لأحجام حبيباتها ، ثم تخلط مع المواد اللاصقة .

بعد خلط الشحنة جيدا في خلطات ميكانيكية عند درجة حرارة ١٢٠°م ، يجرى تشكيل الخليط بالكبس تحت ضغط ٢٥٠-٤٥٠ كجم/سم^٢ ، ويجب ألا يقل الضغط عن الحد الأدنى ، حتى يمكن الحصول على منتجات متينة تقل مساميتها إلى الحد المطلوب ، كما يجب ألا يزيد الضغط على الحد الأقصى ، حتى لا يؤدي ذلك إلى تفتت الجسيمات الصلبة . ويمكن استخدام طرق الكبس في تشكيل المنتجات الكربونية كما في الشكل (٢٨) ، أو طرق البثق للحصول على المنتجات بالأشكال المطلوبة كما في شكل (٢٩) .



شكل (٢٨)
تشكيل المواد الكربونية بطرق الكبس
١ - القوة المسلطة



شكل (٢٩)
تشكيل المواد الكربونية بطريقة البثق
١ - القوة المسلطة

ولا تكون المنتجات بعد تشكيلها بالمتانة المطلوبة ، كما أنها لا تكون ذات موصلية عالية للكهرباء ، وحتى تكتسب المنتجات هذه المواصفات ، يجرى تحميصها بمزول عن الهواء عند درجة حرارة ١٤٠٠°م في أفران مناسبة لمدة قد تصل إلى عشرة أيام ، فتتفحم المادة اللاصقة ، وتتحسن خواص المنتجات التي يجرى تبريدها بمعدل بطيء حتى لا تتعرض للتشقق . وعند إنتاج مادة الأنود (المصد) لا يكون ضروريا إجراء عملية الكبس والتحميص . وتتميز الشحنة التي تصنع منها هذه المادة باحتوائها على نسبة عالية من المادة اللاصقة ، وبعدم احتوائها على الأنتراسيت .

٤ - إنتاج الألومينا

المبادئ الأساسية لإنتاج الألومينا بطريقة « باير » :

نتعرض فيما يلي للاعتبارات الكيميائية التي تتحكم في العمليات المختلفة لإنتاج الألومينا بطريقة « باير » .

من الممكن تطبيق هذه الطريقة في نطاق عريض من درجات الحرارة المختلفة ومحاليل بتركيزات متباينة . ويتضمن اختيار الظروف المختلفة تقريبا اقتصاديا مقدا ، استنادا إلى عوامل مختلفة كاستهلاك المواد الخام ، وتكاليف التشغيل ، ورأس المال اللازم .

وعادة ، يمكن معالجة الألومينا التي يحتويها البوكسايت كيميائيا عند درجات حرارة منخفضة بواسطة محاليل ذات تركيز منخفض نسبيا من الصودا ، إذا ما كانت الألومينا في صورة هيدرات ثلاثية (لوپأم ، ٣ يدب أ) ، بينما تستخلص الألومينا أحادية الهيدرات (لوپأم ، يدب أ) اقتصاديا عند درجات حرارة أقل ، ومحاليل أكثر تركيزا . وما هو جدير بالذكر ، أنه في الممارسة الحديثة ، تزايد أهمية الخامات التي تختلط بالألومينا الموجودة في كلا الصورتين الهيدرات الثلاثية والأحادية ، كخامات البوكسايت التي توجد بأستراليا ، وجامايكا ، وغرب أفريقيا . وقد يكون إقتصاديا في بعض الحالات ، استعادة الألومينا في صورة الهيدرات الأحادية ، خاصة إذا كان مصنع الألومينا قريبا من مناجم البوكسايت . ومن الممكن معالجة الخامات المختلفة بنفس طريقة معالجة الألومينا النقية .

ومن ناحية أخرى ، فإنه يمكن اختيار الظروف التي تم فيها عملية الاستخلاص ، بحيث تكون مناسبة لاقتصاديات الوحدة ككل ، وليس كهدف فقط لاستخراج الألومينا . فمثلا يجرى استخلاص الألومينا عند درجات حرارة مرتفعة (٥٢٤٠°م) ، لتعطي فورا وبصورة اقتصادية ، ألومينا نقية تحت ظروف معينة . كما يتم الحصول في نفس الوقت على كميات كبيرة من الماء المصعد (بخار الماء) اللازم لدوائر غسل البقايا والنواتج . وينتج عن هذه الطريقة أيضا ، عند تطبيقها على البوكسايت ، راسب ذو خواص جيدة نسبيا من حيث الترسيب والترشيح ، مع سرعة إزالة السيليكون من السائل .

وفي العادة ، يتم اختيار ظروف الاستخلاص لتسهيل عمليات إزالة السيليكا . فالسيليكا الموجودة كقطب وغيره من السيليكات ، تتذوب مبكرا في المراحل الأولى من عملية الاستخلاص عند درجات حرارة منخفضة . ومعموما لا تتأثر السيليكا الموجودة في البوكسايت ككوارتز خلال عملية الاستخلاص عند درجات حرارة منخفضة . ويجب استبعاد السيليكا الذائبة من المحلول في صورة سيليكات الصوديوم الألومنيومية خلال عملية الاستخلاص ، ولذلك فهي تؤدي إلى فقد جزء من الصودا من المحلول ، كما تضيق كمية ألومينا من الخام . وفي العادة يجرى فصل

بقايا البوكسايت بعد عملية الاستخلاص ، وإزالة السيليكون بعد تحويل المحلول إلى محلول جديد بتركيب كيميائي مختلف ، ثم التبريد إلى درجة حرارة التليان تحت الضغط الجوي المعتاد . ويمكن إجراء عملية الفصل المبدئية في معدات لترسيب والتفليظ المستمرين ، تتبعها عمليات ترشيح ، استنادا إلى الخواص المميزة بالنسبة لترشيح والترسيب المتتبي .

وبفصل المتبق من المخلوط أو المرشح ، فإنه يكون متضمنا مقدارا لا بأس به من كل من الصودا والألومينا في المحلول . وعموما يمكن استعادتها بفصل المتبق عدة مرات متتالية بالماء .

وبعد الحصول على المحلول الناتج عن عمليات الترشيح ، يجري تبريده قبل شحته إلى المثل . ويتم التحلل أساسا في أحواض يجري تقلبها ، ويختلف تشغيلها اختلافا بينا في شتى مصانع العالم . ويمكن أن يتم التشغيل بصورة متقطعة ، حيث يتم الحصول على أقراص صلبة من الراسب .

ويجري فصل الألومينا المنسبة من أجهزة التحلل ثم تقسم . وتدخل المركبات الكربونية المحلول خلال المكونات المضوية التي يحتويها البوكسايت ، وأيضا كغاز ثاني أكسيد الكربون من الجو ، ويجب إزالة هذه المركبات المضوية خلال دائرة التشغيل .

وفي بعض الحالات ، تميل بعض الشوائب الأخرى (خاصة الغناديوم ، والفوسفور ، والزنك) إلى التجمع في الهاليل ، حيث يجري إزالتها بأساليب كيميائية مناسبة .

ويجري تمويض المحلول مما يفقده من الصودا ، بإضافة بعض الصودا الكاوية أو كربونات الصوديوم . ويجب إزالة الماء الذي يدخل في دائرة التشغيل أساسا كطية أو كاء للفصل .

وتميل الاتجاهات الحديثة إلى تبريد المحلول لخطيا بالتبخير (التصيد) لإزالة بعض هذه المياه أو كلها .

وللتشغيل الاقتصادي ، فإنه من الضروري النظر إلى طريقة « باير » كدائرة مغلقة متكاملة ، يؤثر كل قسم فيها على العملية ككل .

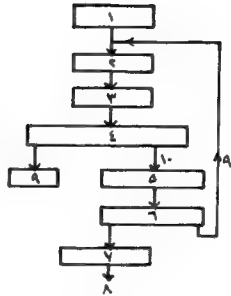
ويوضح الشكل (٣٠) رسما توضيحيا لطريقة باير ، وقد جرى التمييز عن تركيز الصودا بالمكان* لأكسيد الصوديوم كجرام في اللتر ، وتركيز الألومينا لـ ١٠٠ كجرام في اللتر ، ونسبة المحلول كوزن للألومينا : وزن أكسيد الصوديوم .

مراحل تقنية البوكسايت بطريقة « باير » :

تعرض خامات البوكسايت لعمليات تعدينية في مناجمه المكشوفة قريبا من سطح الأرض ، أو على المنح في طبقات القشرة الأرضية . وبعد استخراج كتل البوكسايت التي تكون عادة كبيرة الحجم ، ومختلطة بكثير من الشوائب ، يجري عليه عدد من العمليات المبتارولوجية الفيزيائية التي

شكل (٢٠)
رسم تخطيطي يوضح الخطوات التكنولوجية
في طريقة « باير » لإنتاج الألومينا في
الصناعة :

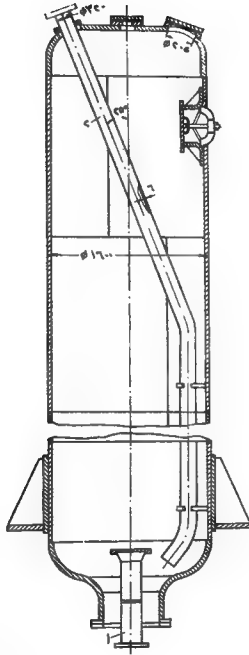
- ١ - بوكسايت
- ٢ - طحن
- ٣ - هضم كيميائي
- ٤ - مرشحات تغليظية
- ٥ - ترسيب
- ٦ - ترشيح
- ٧ - قانن دوارة
- ٨ - ألومينا جاهزة لتجليل الكهربائي
- ٩، ١٠ - سائل مرشح



سبق وصفها ، بهدف تركيز غامة البوكسايت ، وإزالة بعض الشوائب منه (كالطفل) ، ثم
يجرى تجفيفها بعد ذلك ونقلها إلى وحدات التنقية لإجراء عدد من العمليات المبتلورية الأخرى
عليه - بعضها عمليات فيزيقية وبعضها الآخر كيميائية - حتى يتم تحويلها إلى ألومينا نقية .

وتشمل طريقة باير ، العمليات الكيميائية والفيزيكية المختلفة التي تنتهي بالحصول على
بلورات نقية من الألومينا (أكسيد الألومنيوم) ، يمكن الحصول منها بطريقة ميسرة على فلز
الألومنيوم . وتبدأ أول المراحل ، بطحن البوكسايت الذي سبق أن تعرض لعمليات مبتلورية
لتركيزه - طحنا دقيقا . ثم شحنت في أوعية هاضمة تعرف بالآوتوكلافات . والآوتوكلاف ،
الشكل (٣١) ، وعاء غصني يصنع من الفولاذ ، ومتانته عالية حتى يمكنه تحمل الضغط المرتفع
تحت درجات حرارة تصل إلى ٢٠٠° م ، وتسمح بإمكانية تقليب الألب الموجود داخله . وتستنفذ
الآوتوكلافات التي يجري تسخينها بواسطة البخار على نطاق واسع لبساطة تصميمها . ويدخل
البخار في هذه الآوتوكلافات خلال الفتحة (١) ، وتعمل فقاعات البخار أثناء تصاعدها
إلى السطح ، على تسخين الألب وتقليبه بشدة ، وتفرغ محتويات الآوتوكلاف خلال الأنبوبة (٢) .

وهناك نوع من الآوتوكلافات ميكانيكية التقليل ، فيها يجري التسخين بصورة غير
مباشرة ، أي بواسطة ماسير يتدفق خلالها البخار المغمص في منزل عن الألب ، ولكن كفاءة
هذه الآوتوكلافات منخفضة ، ولها كثير من العيوب .



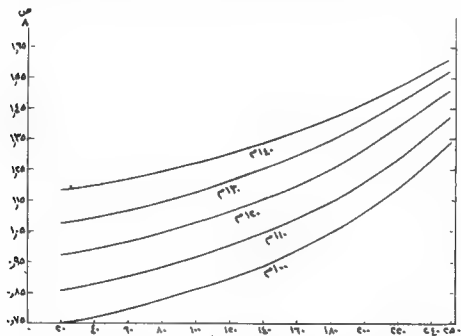
شكل (٣١)
 أوتوكلاف (وعاء هاضم) يعمل بالبخار
 المحمص (درجة حرارته ٢٥٠ م°) :
 ١ - فتحة دخول البخار
 ٢ - أنبوبة يتم خلطها بفرغ محتويات
 الأوتوكلاف

ويصاحبه اللياب بمحلول الصودا الكاوية تحت ضغط ، حتى يسمح باستخدام درجات حرارة فوق نقطة الغليان ، فيذيب أكسيد الألومنيوم الموجود في البوكسايت مع تقاض انتضال مكونات البوكسايت الأخرى (السيليكات ، وأكاسيد الحديد ، والثانديوم ، وغيرها) إلى المحلول .

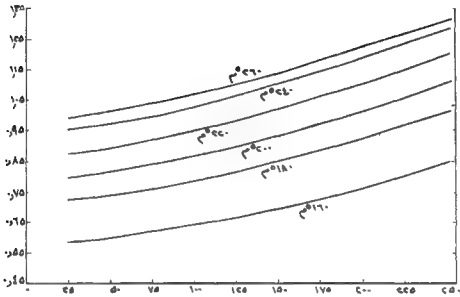
وتوجد الألومينا في البوكسايت متحدة على هيئة هيدرات ، كالهيدرات ، أو الهيدرات الجيلاتية لو_٢ أ_٢ ، ٣ يد_٢ ١ وكالبرومايت والدياسبور لو_٢ أ_٢ ، يد_٢ ١ . وفي التشغيل الاقتصادي ، يجري عادة استخلاص الألومينا أحادية الهيدرات عند درجات حرارة أعلى من ١٦٠°م ، وباستخدام محاليل مركزة نسبيا تصل إلى ٣٢٠ جرام/لتر وفوق أكسيد الصوديوم . وذاتية الألومينا ثلاثية الهيدرات حالية . ولذلك يمكن استخلاص الألومينا منها عند درجة حرارة أقل ، وقد تصل إلى ١٥٠°م ، وبواسطة محاليل أقل تركيزا .

وبما هو جدير بالذكر ، أنه عند درجات حرارة أعلى من ١٤٠°م ، ويحصل تزايد بارتفاع درجة الحرارة ، وازدياد قوة تركيز الصودا ، تتحول الألومينا ثلاثية الهيدرات ، إلى ألومينا أحادية الهيدرات .

وبين الشكلان (٣٣ ، ٣٢) الذاتية العظمى للألومينات في صورتها : ثلاثية الهيدرات ، وأحادية الهيدرات على الترتيب ، في صورة منحنيات لنسبة الاتزان : (وزن لو_٢ أ_٢ / وزن ص ٢ المفردة أو الكاوية) .



شكل (٣٢) نسب الإتزان للألومينا ثلاثية الهيدرات تشمل درجات الحرارة من ١٠٠ حتى ١٤٠°م :
المحور س : تركيز الصودا غير المتصدة (جرام/ ١ ص ١)
المحور ص : نسبة الإتزان ، وزن لو_٢ أ_٢ / وزن ص ٢

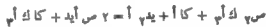


شكل (٣٣) نسب الإيزان للألومينا أحادية الهيدرات تشمل درجات الحرارة من ١٦٠ حتى ٢٦٠ °م:
 المحور ص : تركيز الصودا غير المتحللة (جرام / ص ١)
 المحور ص : نسبة الاتزان ، وزن لو ٢ / وزن ص ١

ولا يتأثر الاتزان بقدر ملموس بوجود كربونات الصوديوم ، وكلوريد الصوديوم ،
 أو مواد عضوية . ويتفاعل أكسيد الألومنيوم (في صورتيه المتينتين الأحادية والثلاثية)
 كما يلي :



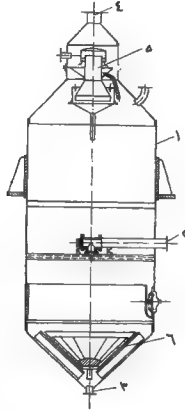
وتتكون الصودا الكاوية نتيجة تفاعل الجير الحى (كا أ) مع كربونات الصوديوم
 (ص ٢ ك أ) في وجود الماء كما يلي :



ونتيجة لذلك تترسب كربونات الكالسيوم (كا ك آ) لعدم قابليتها للذوبان في الماء ،
 وتبقى الصودا الكاوية في المحلول لتسافظ على قوة المحلول الكاوى .

وفي الأوتوكلاف ، يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم عند درجات الحرارة المرتفعة مع

حرارة الباب في المسخنات ، وتسخين الماء اللازم لفصل الطينة الحمراء . وتتوقف العوامل المتغيرة المختلفة في عملية هضم البوكسيت ، مثل فترة دوام الهضم ، ودرجة الحرارة ، ونسبة الصنف إلى الصلب إلى الصنف السائل ، ودرجة نموة حبيبات البوكسيت ، إلخ .



شكل (٣٤) رسم توضيحي لفواصل البخار

- ١ - هيكل الجهاز
- ٢ - أنبوبة دخول الباب
- ٣ - تفرغ الباب
- ٤ - فتحة تصريف البخار
- ٥ - وعاء تجميع قطرات المحلول
- ٦ - عارضة

وتؤثر الصورة المبدئية للبوكسيت تأثيراً بالغاً على سرعة ذوبان البوكسيت في القلويات . وتتراوح درجة النموة اللازمة لهضم البوكسيت من ٨٣° إلى ١٠٦° م .

ويدفع المحلول ، الذي يحمل الطينة الحمراء كملق فيه ، خلال مواسير قضخ المحلول الذي يحتوي على الألومينا المستخلصة على هيئة ألومينات الصوديوم ، إلى صهاريج ترسيب تعرف بالمرسبات ، حيث يتم فصل الطينة ككفايات بعد غسلها مرات عديدة لاسترجاع ما تحمله من ألومينات الصوديوم . ويوجه السائل إلى مرشحات ورقية ، أو مرشحات تعمل بالضغط (انظر العمليات الميتالورجية الفيزيائية) ، حيث ينفذ المحلول كرشح رائق ، وتتخلف الطينة الحمراء

على القماش . ثم يوجه الرشيع الرائق إلى العملية التالية ، وهى عملية الترسيب أو التحلل ، وتجرى هذه العملية فى صهاريج مناسبة ، وتضاف إلى المحلول بعض البلورات الدقيقة من هيدروكسيد الألومنيوم ، التى تم الحصول عليها من عمليات سابقة ، وتتم هذه البلورات دائريا خلال المحاليل حيث تستخدم فى كل عملية كتنوى تنمو عليها بلورات هيدروكسيد الألومنيوم ، إذ أنه من الأسهل نمو البلورات على نوى من تكوينها أساسا . ويتبريد المحلول فى الصهاريج ، يتمكس اتجاه التفاعل السابق الذى يحدث عند درجات حرارة عالية فى الأوتوكلاف :



وهذا التحلل ألومينات الصوديوم ، وينتج هيدروكسيد الألومنيوم ومحلول عكر .

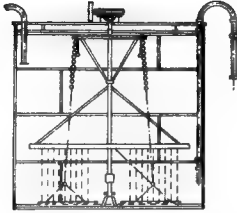
وتعتمد فكرة ترسيب هيدروكسيد الألومنيوم أساسا على خواص تتميز بها أملاح الألومينات . فالأومينات الفلزات القلوية ، كالصوديوم والهيوثيوم والكالسيوم ، أملاح تتكون نتيجة تفاعل حمض ضعيف هو حمض الميتا ألومنيك (يد لو أ) ، مع قاعدة قوية (هيدروكسيد فلزات الأقال : الصوديوم وغيره) .

ومن الصفات المميزة لهذه الأملاح ، تحللها فى وجود الماء إلى شقها . ولما كان هذا التفاعل عكس ، أى قابل لعكس اتجاهه ، لذلك فإن ألومينات الصوديوم غير المتحللة والصودا الكاوية وهيدروكسيد الصوديوم ، تكون موجودة جميعا فى المحلول آتيا (أى فى نفس الوقت) . وفى البداية يكون هيدروكسيد الألومنيوم ذاتيا فى المحلول فى أغلب الأحوال ، ولكن سرعان ما يبدأ فى الانفصال عن المحلول على هيئة راسب بلورى .

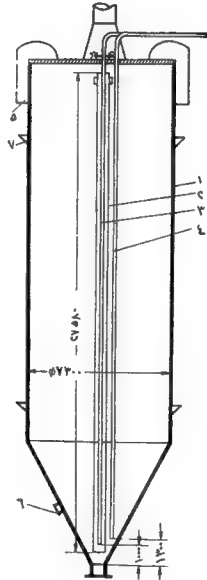
ومن الممكن إيقاف تحلل الألومينات بالماء ، إذا زاد مقدار النسبة الكاوية لهذا المحلول ، بل يمكن أن يتجه التفاعل إلى اليمين ليكون ألومينات الصوديوم ، إذا ما أصبحت النسبة الكاوية عالية جدا . وهذا ما يحدث بالفعل فى الأوعية الهضامة والأوتوكلافات ، ولكن تحت درجة حرارة مرتفعة .

ويمكن قلب ألياب بقلاب ذى سلسلة ، أو بواسطة الهواء المضغوط ، حتى يتساوى تركيز المحلول فى سائر الألياب ، ولتغنى نوى التبلور من الترسيب . وبين التشكلان (٣٥) ، (٣٦) رسمين تخطيطيين للأجهزة التى تجرى فيها عملية الترسيب .

وبعد التحليل الجرى غسل هيدروكسيد الألومنيوم الذى تم ترسيبه فى المرسبات لتخليصه من الصودا ، ثم يكلى فى قينة دوارة (مجفف) تحت درجة حرارة تصل إلى ٩٨٠°م لتخلص نهائيا من الماء ، ولتحويل الألومينا إلى صورة بلورية حتى لا تترطب من الهواء الجوى ثانية وتميد مرة أخرى إلى صورة الهيدروكسيد .

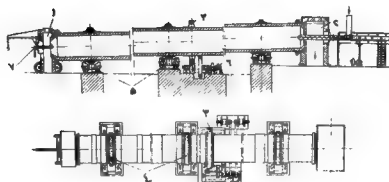


شكل (٣٥)
جهاز تقليب الباب بطريقة ميكانيكية
وتجرى فيه عملية ترسيب هيدروكسيد
الألمنيوم



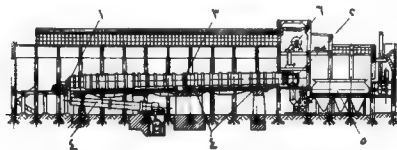
شكل (٣٦) →
جهاز تقليب الباب بواسطة الهواء المضغوط
وتجرى فيه عملية ترسيب هيدروكسيد الألمنيوم
١ - هيكل الجهاز
٢ - ماسورة الهواء
٣ - أنبوبة الهواء الرئيسية
٤ - أنبوبة الهواء الجانبية
٥ - جيب التبريد بالهواء
٦ - فتحة تستخدم للمراقبة بالنظر خلالها
٧ - حلقة التبريد بالهواء

ويبين الشكلان (٣٧) ، (٣٨) الفرن الأنبوبي العوار (المخفف) وملحقاته . وهذا الفرن يستخدم كثيرا في أغراض تكليس الألومينا .



شكل (٣٧) فرن أنبوبي دوار

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ١ - غطاء الحريق | ٢ - فتحة الشحن |
| ٣ - ترس طوق | ٤ - إطارات الأرتكاز |
| ٥ - اسطوانات دحرجة للأرتكاز | ٦ - صندوق تروس تخفيض السرعة |
| ٧ - المشعل | |



شكل (٣٨) ملحقات الفرن الأنبوبي الدوار الذي يستخدم لتكليس الألومينا

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| ١ - غطاء فتحة الحريق | ٢ - فتحة الشحن الثابتة |
| ٣ - هيكل الفرن الدوار | ٤ - محور دوار |
| ٥ - غرف تجميع الأتربة | ٦ - مرشح اسطواني بالتفريع |

ولما كانت المياه التي تستخدم لنقل هيدروكسيد الألومنيوم تضاف إلى المحلول الحفاظ على ما يحتويه من صودا كاوية ، فن الضروري إضافة بعض الجير والصودا آش مع الشحنات التالية للبوكسايت ، حتى تظل القوة الكاوية في المحلول ثابتة ، وبالدرجة المطلوبة .
وتتفصل كربونات الكلسيوم (عمليا عديمة الذوبان في الماء) التي تتكون بالترشيح وتسته مع الطينة الحمراء . وكما ذكر آنفا ، تتفاعل بعض السيليكا - الموجودة في البوكسايت كشائبة - مع الصودا الكاوية لتكوين مركب معقد من سيليكات الصوديوم والألومنيوم التي لاتذوب في الماء . فإنه لكل كيلو جرام من السيليكا في مركب السيليكات الموجودة بالبوكسايت ، يفقد كيلوجرام من الألومينا ، و كيلوجرام من الصودا الكاوية في الطينة الحمراء .
لذلك فإن طريقة « باير » عند تطبيقها صناعيا لمعالجة خامات بوكسايت رديئة الجودة ، تكون غير اقتصادية بالمرّة .

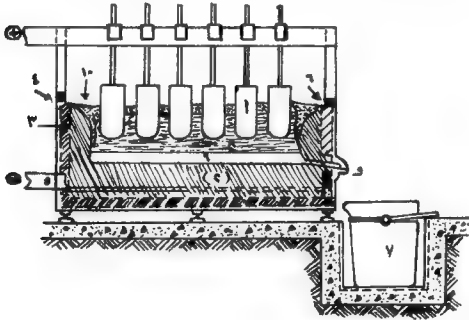
إنتاج الألومينا بطريقة التلييد :

لما كانت موارد خامات البوكسايت عالية الجودة شحيحة ، فقد أجريت أبحاث مستفيضة لتهدف التوصل إلى إمكانية التعامل مع خامات البوكسايت التي تحتوى على نسبة عالية من السيليكا - وهي متوافرة بكثرة في الطبيعة . وقد أمكن التوصل إلى طريقة هي في الواقع توليفة تقرر طريقة «باير» بأسلوب جديد ، للعمل على استخلاص الألومينا بطريقة اقتصادية .
وتشمل هذه الطريقة الجديدة ، معالجة خام البوكسايت الذي يحتوى على نسبة عالية من السيليكا بتطبيق طريقة «باير» ، ثم الحصول على الطينة الحمراء ومعالجتها هي الأخرى لاسترجاع ما بها من صودا وألومينا متحدين مع السيليكات كشوائب في البوكسايت .
وفي هذه الحالة ، تخطط الطينة الحمراء بالحجر الجيري (كربونات الكلسيوم) والصودا آش (كربونات الصوديوم) ، ثم تلييد هما سويا . ويتم ذلك بتسخين العجينة المتكونة إلى درجة حرارة تحدد انصهارا جزئيا في العجينة . وتحت هذه الظروف ، يتفاعل المركب المعقد الذي يتألف من سيليكات الصوديوم الألومنيومية مع الحجر الجيري المضاف والصودا آش ، لتكوين سيليكات الكلسيوم وألومينات الصوديوم وثاني أكسيد الكربون (الذي يهرب من حلقة التفاعل فور تكونه) ، وتصل الكتلة الملبدة بعد ذلك بالماء ، لإذابة ألومينات الصوديوم ، ثم يستبعد ما تبقى بعد ذلك دون أن يذوب في الماء . وحينئذ يضاف المحلول الناتج إلى المحلول الجارى استخدامه في طريقة « باير » ثانية ، وتستعاد الصودا والألومينا .

والألومينا التي يحصل عليها بهذه الطريقة تكون نقية للغاية ، وتحتوى على أجزاء من الماسكة من الحديد والسيلكون ، اللذين تخلفا عن الترسيب في الطينة الحمراء ، خلال عيوب أو فضحات في قماش الترشيح . كما تحتوى على نسبة ضئيلة من الصودا . ومن الأفضل اقتصاديا ، تصحيح التركيب الكيميائي للمحلول ، بإضافة بعض فلوريد الألومنيوم ليبادل الصودا المصافاة مع الألومينا ، عند غسل الآثار الأخيرة من الصودا في هيدروكسيد الألومنيوم أثناء عملية التنقية .

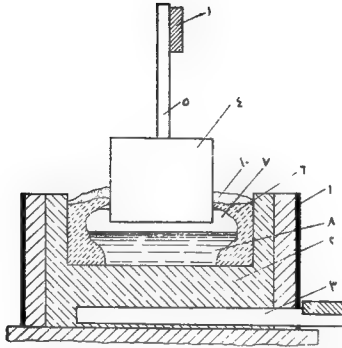
٥ - إستخلاص الألومنيوم

جرت محاولات عديدة للحصول على فلز الألومنيوم بإختزاله من أكسيد (الألومينا) ، باستخدام عوامل إختزال مختلفة ، ولكن هذه المحاولات باءت بالفشل . ففلا يتعد الألومنيوم بالكربون - عند استخدامه كعامل إختزال - مكونا كريد الألومنيوم لوكس . كما أخفقت محاولات الحصول عليه بالتحلليل الكهربائي لحلول أحد أملاحه في الماء ، إذ كانت النتيجة هي تحلل الماء فقط ، والحصول على شقيه الأكسجين والهيدروجين . والطريقة الوحيدة التي يمكن استخدامها (على الأقل حتى الآن) للحصول على الألومنيوم ، هي التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا ، ويستخدم الكريوليت معها كحلول الكتروليتي لخفض درجة حرارة الانصهار . ويجرى ذلك في خلايا كهربائية . ويوضح الشكل (٣٩) قطاعا طوليا في خلية كهربائية تستخدم في التحليل الكهربائي للألومينا . كما يوضح الشكل (٤٠) مقطعا مستعرضا في الخلية .



شكل (٣٩) قطاع طول في خلية كهربائية تستخدم لاستخلاص الألومنيوم ، خلال تحليل كهربائي للألومينا :

- | | | |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| ١ - أنودات كربونية | ٢ - بطانة كربونية | ٣ - مادة عازلة حرارية |
| ٤ - مادة عازلة كهربائية | ٥ - لوحة توصيل كهربائي | ٦ - فتحة الصب |
| ٧ - بوقلة | ٨ - إلكتروليت منصهر | ٩ - ألومنيوم منصهر |
| | | ١٠ - قشرة متجمدة |



شكل (٤٠) قطاع مستعرض في خلية تحليل الألومينا بالكهرباء للحصول على الألومنيوم :

- ١ - هيكل الخلية المصنوع من الفولاذ
- ٢ - بطانة الخلية ، وهي من كتل كربونية
- ٣ - قضبان فولاذية لممر التيار الكهربائي المستمر
- ٤ - أنودات كهربائية
- ٥ - قضيب معدني لتوصيل التيار الكهربائي
- ٦ - أحد القصبان العمومي
- ٧ - إلكتروليت منصهر
- ٨ - ألومنيوم منصهر
- ٩ - طبقة مصهدة من الإلكتروليت
- ١٠ - ألومينا ، توضع بهدف تسخينها

وعادة تتولد الطاقة الكهربائية اللازمة من محطة كهرومائية ، ويقام مصنع الألومنيوم قريبا منها ، وحتى يقل الفاقد من الطاقة الكهربائية إلى أقل ما يمكن خلال انتقالها ، ترفع فطلية التيار المتردد المسار خلال محلول كهربائي مناسب حتى تصبح ١٠٠,٠٠٠ - ٣٠٠,٠٠٠ فلت ، ثم يجري خفض قيمته الفطلية مرة أخرى خلال محولات كهربائية موجودة بمصنع استخلاص الألومنيوم إلى ٨٠٠-٥٠٠ فلت ، وفي الوقت نفسه يحول التيار الكهربائي المتردد إلى تيار مستمر ، وتستخدم في ذلك عادة مقومات قوسية زيتية .

وينخفض الجهد خلال المحلول الإلكتروليتي في الخلية إلى حوالي ٥ فلت ، حيث يستخدم المقوم الواحد حوالي ١٠٠-١٦٠ خلية توصل سماً على التوالي .

وإذا استخدم وقود غازى مصدرا للقدرة ، فإنه يمكن توليد تيار كهربائى تبلغ فلطيته ٧٠٠ (فولت) عن طريق مولد كهربائى متصل بالمحرك الذى يشغل بالغاز .

وإذا تم توليد الكهرباء بالقدرة البخارية ، فيتم نفس الشيء كما فى المحطة الكهرومائية ، باستثناء واحد ، وهو أن محطة توليد الطاقة ومصنع الألمونيوم ، يجب أن يقما قريبين من بعضهما بعضا تماما ، لدرجة أنه يتحتم رفع فلطية المولد الكهربائى بواسطة محولات كهربائية لتقليل الفقد فى الطاقة خلال خطوط نقل القدرة .

وتتألف الخلية الإلكتروليتية (كما هو موضح فى المقطعين السابقين) من هيكل يصنع من الصلب ، يقام على أساس ثابت ، ويطين بكتل وألواح كربونية . وفى المادة يصل عمق الخلية إلى حوالى نصف المتر ، ويوصل قاع الخلية بالتيار الكهربائى المستمر الذى يمر فى قضبان فولاذية ، وتكل الدائرة الكهربائية بتطبيق كتل كربونية تقوم بدور الأنود ، وتوصل بالتالي الكهربائى خلال قضبان معدنية تربطها ببعضها بعض مجموعة من القضبان العمودية .

ولبدء التشغيل ، تخفض الأنودات حتى تستقر تماما على قاع (أرضية) الخلية ، وعندئذ يشحن الكريوليت فى الخلية ، ثم يوصل التيار الكهربائى .

وتعمل الحرارة التى تتولد عن المقاومة بين الأنود وأرضية الخلية (الكاثود) ، على رفع درجة حرارة الكريوليت إلى ما فوق درجة حرارة انصهاره (٩٨٧°م) . وبعد انصهار الكريوليت ، تضاف الألومينا التى تتذوب فى مصهر الكريوليت ، ثم ترفع الأنودات بحيث تسمح بمرور التيار الكهربائى خلال محلول الإلكتروليت المنصهر . وتكفى الحرارة المتولدة نتيجة مرور التيار الكهربائى للحفاظ على الإلكتروليت منصهر فى باءا قشرته السطحية ، فإنها تكون صلبة ، وهى تستغل للاحتفاظ فوقها بكمية كافية من الألومينا ، يجرى تسخينها ذاتيا ، فلا تصبح درجة حرارة الإلكتروليت هباء بطرق الإشعاع والحمل وخلافه .

وعند سطح الأنود الكهربائى ، يتولد غاز الأكسجين ، نتيجة مرور التيار الكهربائى . وإذا كانت درجة الحرارة عالية ، فإن الأكسجين يتحد مع الكربون فى الأنود مكونا غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يتصاعد فى الجو (مع بعض من غاز أول أكسيد الكربون) .

وعند الكاثود ، يتحرر الألمونيوم الفلزى ، حيث يتجمع فى قاع الخلية الكهربائية لتقل وزنه بالنسبة للإلكتروليت المنصهر .

وبصفة تقريبية ، يستهلك ثلثا كيلوجرام من كربون الإلكترود لكل كيلوجرام من الألمونيوم يتم إنتاجه . ويذوب الرامد الموجود فى المادة الكربونية للإلكترود فى الإلكتروليت ، حيث تتحلل مكوناتها المنصرية بواسطة التيار الكهربائى ، ومن ثم ترسب مع الألمونيوم المنصهر وتندب به كشوائب . ولما كان الفحم البترولى وفحم القار يحتويان على نسبة منخفضة من الرامد ، لذلك تصعد عند استئداهما كميات قليلة من الشوائب مع الألمونيوم المنصهر .

ونظرا للاستهلاك الضخم في المواد الكربوتية التي تتكون منها الأنودات وبطانة الخلية ، يلزم اقتصاديا تخصيص وحدة لإنتاج المواد الكربوتية اللازمة . ولقد أشرنا إلى ذلك فيما سبق .

وبتجميع الألومنيوم الفلزى المنصهر عند قاع الخلية ، حيث يجري تجميعه على قرات زمنية منتظمة خلال مشب (سيفون) في بديقة ، ويتم خلطه جيدا قبل صبه في قوالب من الحديد الزهر ، ليتجمد إلى كتل من الألومنيوم .

ويوجد مصباح (لمبة) كهربائي ، في دائرة تتصل على التوازي بكل خلية ، فكلما كانت هناك ألومينا متداوية في الكويولايت ، فإن فرق الجهد عبر الخلية يظل حصة فطاط ، وعليا لا يسرى أى تيار خلال المصباح فلا يتوهج . ولكن عندما تستنفد كل الألومينا ، ترتفع فططة الجهد ، ويسرى تيار كهربائي خلال المصباح يكون كافيا لتوجهه ، وتكون هذه الإشارة بمثابة إنذار ضوئي للعامل ، ليقوم بإضافة مقدار جديد من الألومينا ، ويتم ذلك بتكسير جزء من قشرة الكريولايت التي تملأ المحلول الإلكتروليتي بالخلية وتوجد عليها كمية من الألومينا الساخنة ، فتذوب الألومينا في المصهور الإلكتروليتي سريعا ، ومن ثم تنخفض الفططة ثانية ، وينطفئ المصباح مرة أخرى .

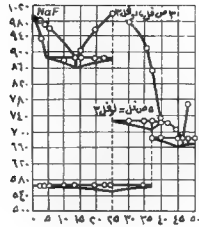
وتستمر العملية قايما دون توقف ، إلا إذا أصابها حائل مفاجئ ، أو إذا أصاب بطانة الخلية تآكل ووجب تغييرها ، أو في حالة هبوط القدرة الكهربائية . وفي مثل هذه الحالات يفصل التيار الكهربائي ، وتخفض الأنودات إلى أن تستقر على قاع الخلية حتى يمكن إعادة تشغيلها بسهولة مرة أخرى ، إذا ما تجدد المحلول الإلكتروليتي .

نسبة الكريولايت :

الكريولايت الذي يستخدم كاملا صهار (يساعد على الصهر) ، مرتفع الثمن ، وينصهر عند درجة حرارة مرتفعة (٩٨٢°م) ، كما أنه يتطاير بسهولة عندما يكون منصهرا ، ولهذا فقد أجريت محاولات عديدة ترمى إلى الاستعاضة عن الكريولايت بأية مادة أخرى تقوم بهذا الدور عند تحليل الألومينا بالكهرباء ، إلا أن كل هذه المحاولات لم تنجح حتى الآن .

وبين الشكل (٤١) منحنى الاتزان الحرارى لمكونى الكريولايت : فلوريد الألومنيوم (لو فلج) وفلوريد الصوديوم (ص فل) .

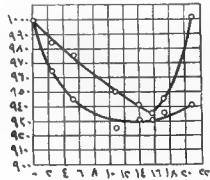
من منحنى الاتزان ، يتضح أن النقطة على خط السيولة التي تشمل التركيب الكيميائي للكريولايت (لو فلج ، ٣ ص فل) لها أعلى درجة انصهار ، عندما تكون النسبة الجزئية لفلوريد الألومنيوم : فلوريد الصوديوم هي ١ : ٣ (أى ٢٥٪ من الجزء المركب للكريولايت ، الذي يحتوى على جزئ من « لو فلج » ، وثلاثة جزئيات من « ص فل » .



شكل (٤١)

منحنى الاتزان الحرارى لمسكوب الكريوليت :
المحور س : النسبة الجزئية للفلوريد الألومنيوم
المحور ص : درجة الحرارة (مئوية)

وتعرف النسبة الجزئية $\left(\frac{\text{ص فل}}{\text{لو فل ٣}} \right)$ في الإلكتروليت بنسبة الكريوليت ، وبالطبع
نهي تساوى ٣ لكريوليت النقي . واصطلح على أن هذه النسبة هي نسبة التعادل ، وإذا انخفضت
كانت النسبة حمضية ، وإذا زادت كانت قاعدية (قلوية) .
وعادة يجري استخدام الإلكتروليت الحمضى ، أى بنسبة تقل عن ٣ ، وتقع عليا بين ٢,٣ و ٢,٧ ،
لأنه إذا انخفضت النسبة من ٢,٣ ، أى كانت الحمضية عالية جدا ، تطاير الكريوليت
بشدة ، وضمفت قابليته لإذابة الألومينا . وإذا زادت النسبة على ٣ أصبح الإلكتروليت غير
صالح للتحليل كهربائيا ، لأن ذلك يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات الصوديوم في المحلول (مصهور
الإلكتروليت) ، مما يزيد من احتمال ترسيب ذرات الصوديوم على الكاثود .



شكل (٤٢)

منحنى الاتزان الحرارى
للمجموعة ، الألومينا ، والكريوليت :
المحور س : النسبة المئوية لوزن الألومينا
المحور ص : درجة الحرارة (مئوية)

ومن ناحية أخرى ، فإن لتغليب الألومينا في الإلكتروليت أهمية . فالمطلوب أن يبلغ تركيز الألومينا أنصافاً في الإلكتروليت ، ولكن ذلك يكون على حساب عوامل أخرى ، منها درجة حرارة انصهار الإلكتروليت . وبين الشكل (٤٢) منحنى الاتزان الحراري لمصورة الألومينا (لو١ أم) - الكريولايت (٣ ص فل ، لو ظم) . ومنه يتضح أن درجة حرارة الانصهار تنخفض إلى أدنى حد لها عندما تصل نسبة الألومينا في الكريولايت إلى ١٥٪ وزناً ، حيث تبلغ درجة الانصهار ٩٣٥°م. وبعد تجاوز هذه النسبة ، ترتفع درجة حرارة الانصهار بصورة حادة ، ويكون ذلك على حساب العديد من العوامل الاقتصادية ، منها استهلاك الطاقة الكهربائية ، واستهلاك الحراريات المبطنة القليلة ، واستهلاك الأنيودات ، وغير ذلك . وعلمياً يمكن خفض درجة حرارة الانصهار بإضافة بعض الفلوريدات (أملاح الفلور) مثل فلوريد الكلسيوم كالفل ، ولكن ذلك يؤدي إلى زيادة المقاومة الكهربائية للإلكتروليت قليلاً ، كما يؤدي إلى إبطاء ذوبان الألومينا في الكريولايت المنصهر . ولكن إضافة فلوريد المنغنسيوم ما فل١ بدلا من فلوريد الكلسيوم ، يؤدي إلى تحسين عملية التحليل الكهربائي للمحلول المنصهر . كما يقلل من الوزن النوعي للإلكتروليت وهو أمر مستحب ، حتى يتفصل الألومنيوم المنصهر بصورة أفضل.

وتصل المقاومة النوعية للإلكتروليت النقي عند درجة حرارة ١٠٠٠°م إلى ٠,٣٧ أوم. سم ولكن المقاومة النوعية للإلكتروليت ، تكون عملياً أعلى من هذا الرقم لاحتواء الإلكتروليت على بعض الشوائب مثل الكربون والكربيدات وغيرها ، حيث تبلغ ٠,٥ - ٠,٥٥ أوم. سم .

ديناميكية التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا :

لم يتم التوصل بعد بصورة قاطعة إلى ما يحدث خلال عملية التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا ، ولكن عدداً كبيراً من العلماء يرجح أن التيار الكهربائي ينتقل عبر مصهور الإلكتروليت لوجود أيونات موجبة من الصوديوم وأيونات سالبة مركبة من فلوريد الألومنيوم ، تنبثق عن تفكك الكريولايت كما في المعادلة التالية :



(لو فل) --- أيون مركب من الألومنيوم والفلور ، ويمكن تسميته أيون الألوموفريك (وتفكك الألومينا في المحلول المنصهر إلى أيونات الألومنيوم ، وأيونات مركبة من الألومنيوم والأكسجين طبقاً للمعادلة التالية :



(لو أم) --- : أيون مركب يمكن تسميته أيون الأكسي ألومونيك

هذا بالإضافة إلى احتمال وجود أيون الأكسجين $^{--}O^{2-}$ وأيون الفلور أيضا $^-F^-$ ، وعليه ، لابد في النهاية ، أن يحتوى المحلول المنصهر على الأيونات التالية :

لو $^{++}Al^{3+}$ ، صر $^+Na^+$ ، فل $^-F^-$ ، أ $^-O^{2-}$ ، وتسمح هذه الأيونات بحركة مستمرة في كل أنحاء المحلول عاملة على سريان التيار الكهربائي ، وإن كان لكل منها دوره الخاص .

وعند إجراء التحليل الكهربائي ، يفقد أولا أيون الألومنيوم $^{++}Al^{3+}$ شحته على

الكاثود (المهبط) ، كما تفقد أيونات الأكسجين $^{--}O^{2-}$ شحنتها على الأنود (المصعد) ، وتحول إلى ذرات نشطة تتفاعل مع كربون الأنود ، متحولة إلى غازي أول وثاني أكسيد الكربون ، ويتسرب هذان الغازان إلى الهواء الجوى ، حيث يشتمل أول أكسيد الكربون متحولا إلى ثاني أكسيد الكربون ، مع اندلاع ألسنة من اللهب تتصاعد فوق القشرة الصلبة للإلكتروليت .

وعليه ، يستمر تفكك الألومينا إلى شحها ، مع اختفاء أحدها (الأكسجين) ، وترسب الآخر (الألومنيوم) عند الكاثود . وتصبح المادة المكسبة ذات اتجاه واحد (لاختفاء الأكسجين) كما يلي :



يمكن التعبير عن تفاعلات غاز الأكسجين مع الكربون كما يلي :



وهكذا تتحلل الألومينا كهربائيا ، ونحصل خلال عملية التحليل على الألومنيوم الفلزى .

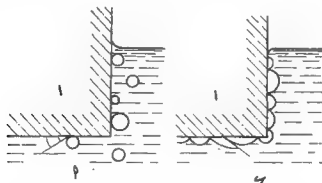
ولا تتعدى نسبة استهلاك الألومينا عليا في الكريولايت من ٨٪ .

اعتبارات تكنولوجية :

(١) التأثير الأنيوى : كما سبق أن أشرنا ، يوجد مصباح كهربائي لا يمر فيه تيار كهربائي ما دام أن هناك ألومينا كافية متداوية في الكريولايت ، ولكن عندما تنخفض نسبتها كثيرا (حتى تصل إلى ١٪) تنخفض الفلطية في الخلطة من ٥ فلط إلى أكثر من ٣٠ فلط ، ومن ثم يمرى تيار كهربائي في المصباح ويتوهج ، مع اندلاع أقواس كهربائية صغيرة عند سطح الأنود للملامس المصهور ، ويكون ذلك بمثابة إنذار يوضح أن الخلطة في حاجة إلى جرعة أخرى من الألومينا التي توجد ساخنة فوق قشرة الإلكتروليت الصلبة ، وحينئذ يقوم العمال بتسليم جزء من هذه

الشفرة يسمح ب سقوط بعض الألومينا التي تنفخ سريما ، فتتخفف القلوية ثانية ، وينتفخ المصباح نتيجة لذلك .

ويمكن توضيح ما يحدث بالتصور التالي : عندما تكون نسبة الألومينا في الإلكتروليت مناسبة ، فإن المصهور يتمكن من تغطية سطح الأنود المنصهر فيه بصورة شاملة ، وبالتالي تزال فقاعات غاز الأكسجين المتولدة سريما من على الأنود (كما في الشكل ٤٣) . فإذا ما انخفض تركيز الألومينا في الإلكتروليت ، تتمكن فقاعات غاز الأكسجين المتولدة من التراكم على سطح الأنود مكونة غشاء غازيا يزيد من المقاومة الكهربائية بصورة مفاجئة ، ويسمى ذلك « التأثير الأنودي » ، ويمكن التغلب عليه بإضافة كمية مناسبة من الألومينا .



شكل (٤٣) كيفية تكون طبقة من الغاز على سطح الأنود (المصدر)

(أ) التحليل الكهربائي يسير بطريقة منتظمة عادة ، يتكون الإلكتروليت من كربولات + ١٠٪ ألومينا

(ب) حسلوث التأثير الأنودي ، يتكون الإلكتروليت من كربولات + ٠.٥٪ ألومينا

(ب) فقد الألومنيوم يتفاوت في الإلكتروليت : إلى جانب التأثير الأنودي ، هناك عدة عمليات كيميائية بنجم عنها بعض المسائل التي قد تؤثر على سير عملية الإنتاج بطريقة سلسة ومنتظمة . من هذه العمليات ذوبان الألومنيوم الفلز في الإلكتروليت المنصهر . فالألومنيوم يتذاب في الإلكتروليت المنصهر حتى نسبة ١٠.١٪ ، وعندئذ يصبح الإلكتروليت مشبعاً بالألومنيوم . ولكن ما يحدث في حالة التحليل الكهربائي قد يؤدي إلى فقد كمية كبيرة من الألومنيوم ، إذ تتأكسد الكمية المذابة من الألومنيوم بأكسجين الهواء الجوي متحولة إلى ألومينا ، سرعان ما تنفخ في الإلكتروليت ، فيقل تركيز الألومنيوم في الإلكتروليت ، فتتولد كمية أخرى منه ، وهكذا ، مما يمثل عبثاً على عملية التحليل الكهربائي ، للألومينا ، وخفضاً لكفاءة التشغيل .

(ج) لقد الألومنيوم يتفاعله مع الكربون : يحدث عند درجات الحرارة العالية أن يبدأ الألومنيوم في التفاعل مع الكربون الموجود في الإلكتروليت مكونا كريد الألومنيوم طبقا للمعادلة الآتية :

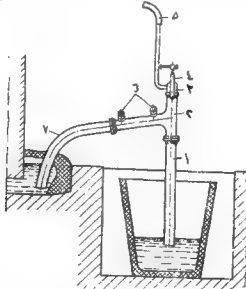


وكريد الألومنيوم وزنه النوعي كبير ، وموصلية الكهربائية منخفضة . ويرسب إلى قاع الخلية أسفل الألومنيوم المنصهر لثقله .

صب الألومنيوم المنصهر من الخلية :

يتراكم الألومنيوم المنصهر ، الناتج عن عملية التحليل الكهربائي للألمينا ، عل أرضية الخلية تدريجيا لكثافته التي تفوق كثافة الإلكتروليت المنصهر (كثافة الإلكتروليت أكبر من كثافة الألومنيوم ، وهما في الحالة الصلبة) .

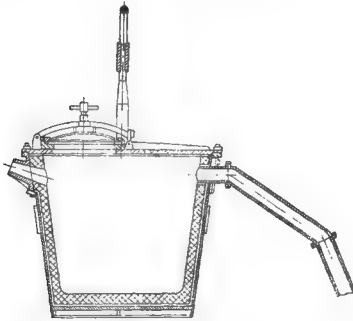
ومن الناحية العملية ، يستهدف في الوحدة الإنتاجية أن تكون عملية صب الألومنيوم من الخلية على فترات زمنية متباعدة ، ثلاثيا للإخلال بسير العمل الروتيني لخلية . وعادة يصب الألومنيوم كل يومين أو ثلاثة أيام . ويتم التفريغ خلال شاعب (سيفونات) أو بواشق ، تعمل على خلط الهواء . ويوضح الشكل (٤٤) رسما للمشبب (السيغون) ، وهو يتكون من أنبوبة ثلاثية الأفرع ، يفر طرفها الأسفل في البودقة المملعة لتجميع الألومنيوم . أما الفتحة العليا لهذه الأنبوبة ، فتستغل لعمل خلخلة في هواء المشبب . ويجب أن يكون مستوى البودقة دون مستوى الألومنيوم في الخلية ، كما يجب أن يسخن المشبب إلى درجة حرارة ٢٥٠°م تقريبا ، حتى لا تتجمد القطرات الأولى من الألومنيوم التي تمر خلاله . ثم يدخل طرف المشبب



شكل (٤٤) مشبب (سيغون) يستخدم لتفريغ مصهور الألومنيوم من الخلية بواسطة الخلخلة :

- | | | | |
|------------|---------------------------|----------|----------|
| ١ - أنبوبة | ٢ - أنبوبة على شكل T | ٣ - غطاء | ٤ - ماسك |
| ٥ - خرطوم | ٦ - حلقتان لتعليق السيغون | ٧ - كوع | |

داعل الخلية بواسطة رافعة ، فإذا أوقف الضغط عن الجزء (١) من الأنبوبة ، وتمت خلخلة الضغط في الجزء الباقى من الأنبوبة الذى ينتشر داخل الخلية ، فإن الألومنيوم المنصهر ينساب تباعا من الخلية إلى البودقة .
ويمكن صب الألومنيوم المنصهر من الخلية بواسطة بواقى التفريغ (الخللخلة) ، وفى هذه الحالة ، يجب أن يكون التفريغ كبيرا . ويبين الشكل (٤٥) رسما توضيحيا لبودقة التفريغ ، حيث تحتوى المعدات المستخدمة على ترتيبات وآليات معقدة .



شكل (٤٥) بودقة تستخدم لصب الألومنيوم المنصهر من الخلية بتفريغ الهواء

٦ - تنقية الألومنيوم

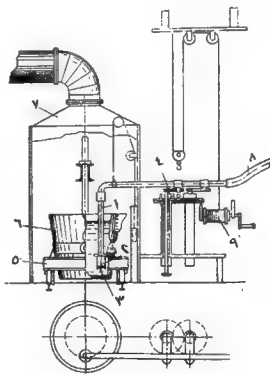
(١) تنقية الألومنيوم باستخدام غاز الكلور :

يحتوى الألومنيوم المنصهر فور استخلاصه من الخلايا الكهربائية ، على عدد من الشوائب الفلزية واللافلزية ، وبعض الغازات الذائبة كالهيدروجين .

ويتلوث الألومنيوم المنصهر بهذه الشوائب نتيجة اختزالها من أكاسيدها المحتواة في خام البوكسيت ، وأيضا في أثناء عملية التحليل الكهربائى في الخلايا . والناصر الآتية مقدمة الشوائب التى يحويها الألومنيوم :

السيليكون ، والصوديوم ، والبوتاسيوم ، والتيتانيوم ، والمغنسيوم ، والحديد ، والنحاس .
 ونتيجة لنوبان هذه الشوائب في الألومنيوم الناتج ، تتأثر الدرجة كبيرة الخواص الميكانيكية
 للألومنيوم وقابليته للتشكيل ، وسبكيته (قابليته للباكة) ، كما تقل مقاومته للتآكل الكيميائي ،
 وتنخفض موصلتيه الكهربائية . ولهذا فن الضرورى تنقية الألومنيوم من هذه الشوائب .
 وتجري عملية التنقية في البواشق باستخدام غاز الكلور . ويبين الشكل (٤٦) الجهاز المستخدم
 في عملية التنقية ، حيث توضع البودقة التي تحوى مصهور الألومنيوم تحت قلنسوة خاصة .
 وتمرر الأنبوبة الموصلة بالأسطوانات التي تحوى غاز الكلور ، من خلال فتحة في هذه القلنسوة .
 ويجب أن توضع اسطوانات غاز الكلور في مكان خاص سماية لصحة العاملين في الموقع ،
 كما يجب سحب الغازات الناتجة عن عملية الماخلة بالكلور (أغلبها غاز كلوريد الهيدروجين
 يد كل) بعيدا عن المنطقة . ويتم عملية الماخلة بالكلور عند درجة حرارة ٧٢٠-٧٥٠°م ،
 حيث يدفع تيار من غاز الكلور خلال أنبوبة من البرافيت أو الكوارتز ، لها انتفاخ يعمل على
 توزيع الغاز بانتظام ، فيتحد جزء منه ببعض الألومنيوم بسرعة ، مكونا كلوريد الألومنيوم
 لوكلم ، الذى يتبخر سريعا لانخفاض درجة حرارة غليانه (درجة حرارة غليان كلوريد
 الألومنيوم ١٨٠°م) ويؤدى ذلك إلى تقليل مصهور الألومنيوم تقريبا جيدا وفورانه ، مما
 يساعد على فصل الشوائب غير المعدنية وطقوها على سطح المصهور .

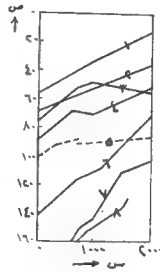
شكل (٤٦)
 جهاز تنقية الألومنيوم المنصهر
 باستخدام غاز الكلور :
 ١ - أنبوبة توصيل غاز الكلور
 ٢ - نفخة
 ٣ - فتحات هروب غاز الكلور
 ٤ - منصدة بها آلية للتنوير
 ٥ - بودقة
 ٦ - عربة
 ٧ - غرفة التنقية بغاز الكلور
 ٨ - خرطوم مطاط
 ٩ - اسطوانة تستخدم ضمن آلية الرفع



وفي أثناء عملية التقليل الذاتية ، تتمكن بعض الفلزات من الاستيلاء على الكلور والاستثمار به ، فتتزعج من كلوريد الألومنيوم على حسب مقدار الطاقة المطلقة لهذه الكلوريدات عند درجة حرارة التنقية .
ويوضح الشكل (٤٧) مقدار التغير في الطاقة المطلقة عند درجات الحرارة المختلفة .

(شكل ٤٧) تغير الطاقة المطلقة لتفاعلات بعض الكلوريدات عند درجات الحرارة المختلفة :
ص : (المحور السفلي) : درجة الحرارة °م
ص : (المحور الصادي) : الطاقة المطلقة القياسية
عند تكون الكلوريدات بالكيلو سعر/ جرام جزئي
من غاز الكلور :

$$\begin{array}{rcl}
 ١ - & ٢ \text{ نح} + ٢ \text{ كل} & = ٢ \text{ نح} + ٢ \text{ كل} \\
 ٢ - & \frac{١}{٢} \text{ ص} + \frac{١}{٢} \text{ كل} & = \frac{١}{٢} \text{ ص} + \frac{١}{٢} \text{ كل} \\
 ٣ - & \frac{٢}{٣} \text{ لو} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} & = \frac{٢}{٣} \text{ لو} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} \\
 ٤ - & \frac{٢}{٣} \text{ غ} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} & = \frac{٢}{٣} \text{ غ} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} \\
 ٥ - & \frac{٢}{٣} \text{ لو} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} & = \frac{٢}{٣} \text{ لو} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} \\
 ٦ - & \frac{٢}{٣} \text{ ما} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} & = \frac{٢}{٣} \text{ ما} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} \\
 ٧ - & \frac{٢}{٣} \text{ ص} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} & = \frac{٢}{٣} \text{ ص} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} \\
 ٨ - & \frac{٢}{٣} \text{ كا} + \frac{٢}{٣} \text{ كل} & = \frac{٢}{٣} \text{ كا} + \frac{٢}{٣} \text{ كل}
 \end{array}$$

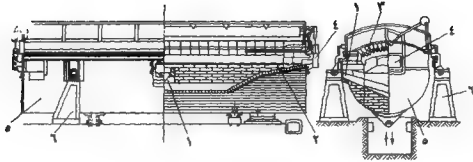


وتطفو كلوريدات الشوائب على سطح المصهور لطفة أوزانها .
وبعد الانتهاء من عملية التنقية ، ينقل الألومنيوم النقي إلى أفران مقاومة كهربائية ، يبين الشكل (٤٨) أحدها .

ويتكون جسم فرن المقاومة الكهربائي من هيكل ممغنط ، جزء الأسفل على هيئة نصف أسطوانة ، يستند على مرتكزات منشورية الشكل ، أما جوف الفرن فيتألف من حجرين أمايتين ومن حوض متجمع . ويكون الفرن مبطناً بالطوب الحراري . وتثبت ملفات المقاومة المصنوعة من الصلب النيكل الكرومي في سقف الفرن .

ويمكن إزالة الفرن لإخراج الألومنيوم من فتحة الصب . ويستخدم مثل هذا الفرن لإعادة صهر الألومنيوم للأغراض التالية :

- تنقية الألومنيوم لدرجة أكبر ، يتركه ساكناً لفترة مناسبة عند درجة الحرارة اللازمة .
- تجانس الألومنيوم بخط الصبات المتعددة والواردة من غلايا مختلفة .



شكل (٤٨) فرق مقاومة كهربائي

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| ١ - فتحة الصب | ٢ - الفرة الأمامية |
| ٣ - سخانات تعمل بالمقاومة الكهربائية | ٤ - فتحة الشحن |
| ٥ - غلاف معدني | ٦ - أعمدة ارتكاز الفرن |

(ب) تنقية الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائي :

تستخدم هذه الطريقة للحصول على ألومنيوم بالغ النقاء ، حيث يجرى استخدامه في أغراض البحث العلمي ، وما شابه ذلك . وتصل نسبة النقاء إلى ٩٩,٩٩٩٪ . ويعد من انتشار هذه الطريقة على نطاق صناعي واسع ، تكاليفها الباهظة .

وتجرى حالياً عملية التنقية بالتحليل الكهربائي في وسط منصهر ، يكون الأنود فيها سبيكة للألومنيوم غير النقي مع فلز ثقيل ، ويكون الكاثود فلز الألومنيوم النقي ، وتتم المسافة بين الأنود والكاثود بطبقة من الإلكتروليت تتكون من أملاح الفلوريدات والكلوريدات اللامائية (لا تحتوي على ماء تبلور) . ويجب أن يكون الوزن النوعي للإلكتروليت عند درجة حرارة العملية أكبر من الوزن النوعي للألومنيوم النقي ، وأقل من الوزن النوعي لسبيكة الأنود .

وعادة يستخدم إلكتروليت ، وهو يتألف من مخلوط كلوريد الباريوم بأكمله (بنسبة ٦٠٪) وفلوريد الألومنيوم لو فل (بنسبة ٢٣٪) ، وفلوريد الصوديوم (بنسبة ١٧٪) ، والوزن النوعي لهذا الإلكتروليت ٢,٧ . ويتميز النحاس من أفضل الفلوات التي تستخدم لزيادة الوزن النوعي لسبيكة الأنود .

وتعرف هذه الطريقة لتنقية الألومنيوم بطريقة الطبقات الثلاث ، ويمكن التعبير عن خطوات التنقية بالمعادلات التوضيحية التالية :

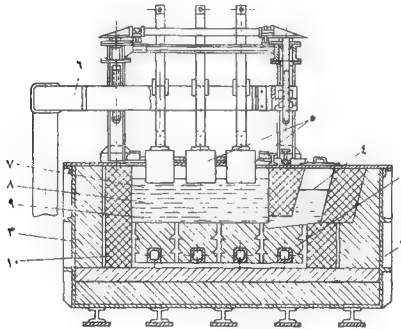
عند الأنود : لو (منصهر) ٣ إلكترونات \rightarrow +++

عند الكاثود : لو +++ ٣ إلكترونات \leftarrow (منصهر)

ولا تصلح الشوائب الأكثر إيجابية كهربائياً من الألمنيوم، أن تنتقل من الأنود إلى الإلكتروليت مادامت سبيكة الأنود تحتوي على نسبة كافية من الألمنيوم . أما الشوائب الأكثر سلبية كهربائياً من الألمنيوم ، فتنقل من الأنود إلى الإلكتروليت . ولكن هذه الشوائب لا تستطيع أن تنفصل عن الأنود ما دام تركيز أيونات الألمنيوم في الإلكتروليت - أو حتى هذه الكاثود - كبيراً ، لأن جهد انفصال هذه الشوائب أعلى من جهد انفصال الألمنيوم .
ويبين الشكل (٤٩) خلية تستخدم لتنقية الألمنيوم بطريقة الطبقات الثلاث .

(ج) التنقية بطريقة المغنسيوم :

تستخدم هذه الطريقة لتنقية بعض سبائك الألمنيوم ، فتصهر السبيكة مع ٢٥-٣٠٪ من المغنسيوم ، وتصل درجة حرارة انصهار هذه السبيكة إلى ٥٥٠ م° . وفي هذه الحالة ، تنخفض



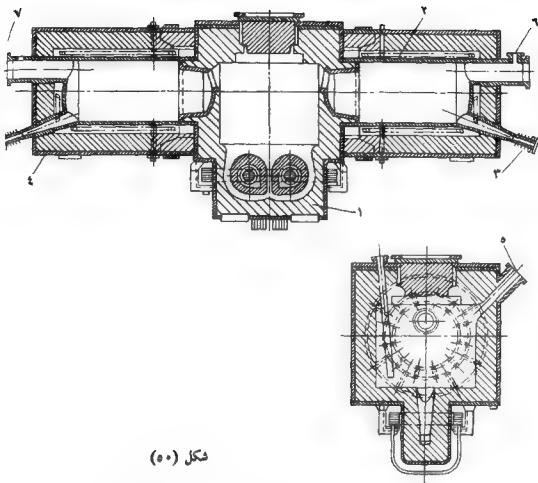
شكل (٤٩) خلية تنقية الألمنيوم بواسطة التحليل الكهربائي تبعا لطريقة الطبقات الثلاث :

- | | | | | | |
|------|------------------------|-----|-----------|-----|---------------------------------|
| ١ - | كبل الكاثود | ٢ - | غلاف | ٣ - | بطانة جانبية |
| ٤ - | فتحة الشحن | ٥ - | الكاثود | ٦ - | عمود توصيل الكهرباء إلى الكاثود |
| ٧ - | الألمنيوم أثناء تنقيته | ٨ - | الكتروليت | ٩ - | سبيكة الأنود |
| ١٠ - | بطانة من الحبيبات | | | | |

ذائبة الحديد في السبيكة انخفاضا حادا ، حيث يفصل الحديد على هيئة بلورات من لوح γ ترسب على أرضية الخلية . كما يتحد جزء من السليكون والمنغنسيوم مكونا سليسيدات المنغنسيوم الخفيفة الوزن ، فتطفو على السطح . ويتحد جزء من الحديد في أثناء ذلك مع المنجنيز . ويفصل سبيكة الألومنيوم والمنغنسيوم عن المركبات الكيميائية للحديد والسليكون والمنجنيز ، يجرى ترشيح المصهور خلال طبقة من حبيبات البازلت تحت التفريغ (الخلخلة) عند درجة حرارة $1050-1070^{\circ}\text{C}$ ولا تزيد نسبة الحديد في المصهور بعد ترشيحه عادة على بضعة أجزاء في الألف .

ويختر المنغنسيوم من سبيكة الألومنيوم والمنغنسيوم بعد الترشيح في أفران مفرقة من الهواء متصل بالحث الكهربائي (كما في الشكل ٥٠) ، ثم يكثف في مكثفات خاصة ، ويتبخر الزنك خلال هذه العملية إذا كان موجودا ضمن عناصر سبيكة الألومنيوم .

ويتم تبخير المنغنسيوم والزنك عند درجة حرارة $900 - 950^{\circ}\text{C}$ عندما يصل الضغط إلى 10^{-4} مم زئبق ، ويراعى الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة في المكثفات عند 200°C تقريبا ، عندئذ يتبخر كل من المنغنسيوم والزنك من سبيكة الألومنيوم ، حيث يتسبان على جدران المكثفات على هيئة بلورات .



شكل (٥٠)

فرق الحث الكهربائي ، يستخدم لتصعيد المنغنسيوم من سبيكة
الألومنيوم والمنغنسيوم خلال جو مفرغ (ضغط منخفض لدرجة
كبيرة) ، ويؤدي ذلك إلى تنقية الألومنيوم :

- ١ - هيكل الفرن
- ٢ - مسخنات
- ٣ - فتحة صب سبيكة الألومنيوم والمنغنسيوم
- ٤ - موجسة
- ٥ - فتحة صب الألومنيوم النقي
- ٦ - فتحة دخول الهيدروجين
- ٧ - خط تفريغ الهواء

الباب الثالث

الميتالورجيا الفيزيكية للفلزات وتطبيقاتها

مقدمة في الميتالورجيا الفيزيكية :

تتسم معظم الفلزات ، عند انصهارها ، بخاصية التذارب المتبادل المحدود في الحالة المنصهرة . وهناك مجموعة من الفلزات تذارب منصهرة في بعضها بعضا متى ما بقيت حدود .

ونادرا ما نجد فلزين لا يتذاربان إطلاقا في الحالة المنصهرة ، حيث يفصل مصهورهما إلى طبقتين ، تملأ إحداها الأخرى فيما لكثافتها في حالة الانصهار ، مثل الحديد والزرنيخ . ولكن الحالة الأكثر شيوعا عند اتحاد فلزين منصهرين معا ، هي التذارب المحدود . وفي هذه الحالة ، نحصل على محلول منصهر متجانس تماما . إذا ما كانت كمية الفلز ب المضافة إلى الفلز أ لا تزيد عن ذاتيتها المظلي ، عند درجة حرارة الانصهار . ولكن من ناحية أخرى ، إذا تمت كمية الفلز ب المضافة ذاتيتها المظلي في أ ، انفصل المصهور إلى طبقتين ، تتألفان من محلولين مشبعين : من ب في أ ، والأخر من أ في ب .

وباستثناء بعض الحالات النادرة لبعض الفلزات (مثل الحديد والنيكل) ، التباين والفسحة النحاس والكروم) فإن التذارب المحدود في الحالة المنصهرة يتميز باختلاف حاد في درجة حرارة الانصهار لكل منها ، وأحجام ذراتهما .

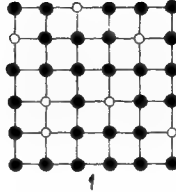
وعندما يتساوى فلز ب فلز آخر أو ينصهر لا فلزي - يحدث تفاعل كيميائي بين ذرات المنصهرين ، وتولف إلكترونات التكافؤ للمنصر السبيكي - التي تتميز بصفت ارتباطها إلى نواها حيث لا تنتمي إلى ذرات منفصلة ، ولكنها تشترك في مجموعة الذرات ككل كما في الحالة الصلبة - مجموعة كيميائية واحدة لكل المحلول المنصهر . ويتمتع توزيع ذرات (أيونات) المنصهر التي تتألف السبيكة منها في محلول منصهر ، على علاقة قوى التفاعل المتبادلة بين الذرات المتشابهة وغير المتشابهة . وعند تذارب عنصر سبيكة أحدهما في الآخر في الحالة الصلبة ، تتكون إما محاليل جامدة ، وإما مركبات كيميائية ، أو ينتج عنها - بعد تجديدها - محاليل ميكانيكية (غير متحدة كيميائيا) من كلا المنصهرين أ ، ب ، أو عدة محاليل جامدة . وعند تكون محاليل جامدة ، تحمل ذرات المنصر المذاب محل بعض ذرات المنصر المذيب في شبكته البلورية ، كما في الشكل (٥١) ، أو قد تكن ذرات المنصر المذاب في المسافات البينية الفاصلة بين الذرات ، كما في الشكل (٥٢) .

في معظم الحالات إذن ، تتسم عناصر السبيكة بتذارب متبادل محدود في الحالة الصلبة . ومع ذلك ، فإن كثيرا من الفلزات لها ذاتية متبادلة غير محدودة .

شكل (٥١)

ذرات العنصر المذاب تحمل محل بعض نورات
العنصر المذيب في شبكته البلورية :

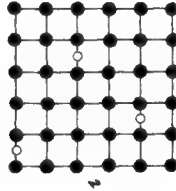
● ذرة العنصر المذيب
○ ذرة العنصر المذاب



شكل (٥٢)

ذرات العنصر المذاب تكن في المسافات البينية
القاصلة بين ذرات العنصر المذيب :

● ذرة العنصر المذيب
○ ذرة العنصر المذاب

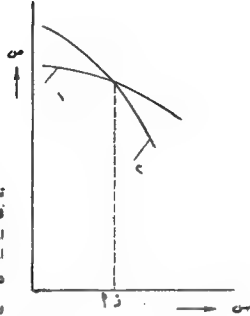


وإذا كان أحد عناصر السبكة موجوداً بكمية تفوق حد تذاوبه فيها ، فإن الكمية الزائدة
من هذا العنصر تكون صنفاً (طوراً) مستقلاً ، قد يكون محلولاً جامداً مشبعاً ، أو مركباً
كيميائياً ، أو بلورات مستقلة لهذا العنصر .

وفي بعض الأحيان ، يختلف المركب الكيميائي عن المحلول الجاف في أن المركب الكيميائي
تكون له شبكته البلورية الخاصة به ، والتي تميزه عن غيره من المركبات ، وهو في معظم الأحيان
يتطلب من الناحية الكمية علاقة محددة لمكوناته كي يتكون .

وتكون عملية التحول الانتقالية لسبكة من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة ، مصحوبة بشحولات
المجموعة الكيميائية إلى حالة تقل فيها الطاقة المطلقة لها ، كما في الشكل (٥٣) .

وكما هي الحال في تجمد الغازات النقية ، يبدأ هذا التحول فقط إذا تعرضت السبكة لتبريد



شكل (٥٣)

تغير مقدار الطاقة المضافة مع درجة الحرارة
في حالتى الصلابة والسيولة :

المحور ص : يمثل درجة الحرارة

المحور ح : مقدار الطاقة المضافة

١ د : درجة حرارة الإلتزان بين حالتى الصلابة
والسيولة

مفرط (دون نقطة تجمدها) ، كما فى الشكل (٥٤) . وعندئذ تبدأ بلوراتها فى التكون ،

شكل (٥٤) تجمد الفلز

الذى أثناء تعرضه لتبريد مفرط

المحور ص : الزمن

المحور ح : درجة الحرارة

المتوىة

١- معدل تبريد بطيء

جدا ، يتعرض المصهور

لدرجة تبريد مفرط

طفيفة ، ومن ثم فهو يتجمد

عند درجة حرارة تقارب

درجة حرارة الإلتزان د

(أنظر شكل ٥٣) . الجزء

الأعلى من المنحنى يدل على

ثبوت درجة الحرارة نتيجة

انطلاق الحرارة الكامنة

وتعويضها الحرارة المفقودة

بالتبريد

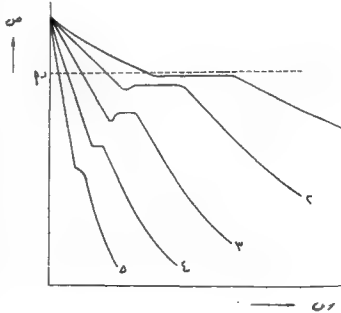
٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ :

معدلات تبريد متزايدة ،

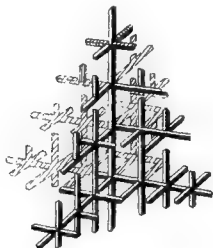
وفيها يتجمد الفلز المتصلب

عند درجات حرارة أقل من

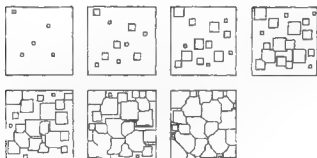
درجة حرارة الإلتزان د



ثم لا تلبث أن تصبح نوى تنمو بعد ذلك كتركيب دندريتي (تفرعي يشبه أفرع الشجرة) كما في الشكل (٥٥) ، أو كبلورات متكاملة الأسطح كما في الشكلين (٥٦ ، ٥٧) .

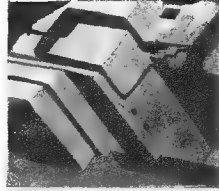


شكل (٥٥)
تركيب دندريتي



شكل (٥٦)

رسم توضيحي يبين خطوات تجمد فلز نقي من حالة الانصهار حتى تكوين بلورات متكاملة الأسطح



شكل (٥٧)
التركيب البلوري للألومنيوم كما يتضح من
الفحص المجهرى (مكبرة ٧٠٠ مرّ)

وعندما تتجمد السبائك ، فإن الأصناف (الأطوار) المتكونة حديثاً تكون مختلفة في تركيبها الكيميائي عن المحلول المنصهر الأصل . ولذلك ، فإنه لتكوين نواة مستقرة ، لا يكون كافياً حدوث تغيرات في الطاقة فقط - كما هي الحال لمischung مكونة من مكون واحد - بل يجب أن يكون هناك تباين في التركيز أيضاً .

ويقل كثيراً معدل نمو البلورات في المحاليل عنه في الفلزات الخالصة . ويميز ذلك إلى أن النمو البلوري في محلول ما لا يكون مصحوباً فقط بتكون نوى ثنائية الأبعاد على أوجه البلورة ، كما يحدث في حالة الفلزات الخالصة ، ولكن يكون مصحوباً أيضاً بانتشار ذرات المكونات في المحلول المنصهر . وكلما كان الفرق في التركيز بين المحلول المنصهر وبين البلورات التي تتكون كبيراً ، كان معدل نمو البلورات بطيئاً .

وبعد تجمد مصهور السبيكة كلية ، تحدث تغيرات في التركيب البنائي ، بسبب التحولات التآصلية ، وبسبب تحلل المحلول الجامد نتيجة للتغيرات التي تطرأ على التناوب المتبادل بين المكونات في الحالة الصلبة .

وتتم التحولات في الحالة الصلبة بطابع بلوري فقط ، ويتم بتكون بلورات الأصناف (الأطوار) الجديدة ثم نموها .

لأعادة الصنف (الطور) ومنحنيات الاتزان :

توضح عملية تجمد السبائك الفلزية ، بواسطة رسومات توضيحية ، تبين اتزانها الكيميائي عند أية درجة حرارة . وهي تمثيل بياني مناسب للتغيرات التي تطرأ على حالتها نتيجة لتباين في درجات الحرارة والتركيز . وتساعد منحنيات الاتزان ، التي تسمى أيضاً الرسم البياني للأصناف (الأطوار) ، على معرفة الصنف (الطور) الذي تحتويه السبيكة عند أية درجة حرارة ولأي تركيب كيميائي . كما تساعد هذه المنحنيات على تتبع التحولات المختلفة التي تطرأ على الأصناف

أثناء تسخين أو تبريد الشبكة المعنية في حالات اتزانها كيميائياً ، أي عندما تكون كل التفاعلات في المجموعة الكيميائية المطاة عكسية . وهنا يعني أن التغيرات التي تحدث في مجموعة ما نتيجة لعمليات تم في اتجاه واحد ، تكون مصحوبة بتغيرات تنتج عن عكس العملية في المجموعة الكيميائية .

وتعرف المجموعة في هذا المجال بأنها ائتلاف لواحد أو عدة مكونات عند مختلف الضغوط والتركيبات الكيميائية .

والمكونات هي تلك المواد (سواء أكانت عناصر أو مركبات كيميائية) ، التي يتضمن وجودها بصورة كافية لتكوين مجموعة . وعلى سبيل المثال ، يعتبر الفلز النقي مجموعة من مكون واحد ، وتعتبر شبكة تتألف من فلزين مجموعة ثنائية من مكونين ، وهكذا .

والصنف (الطور) ، هو ذلك الجزء من مجموعة ما ، الذي له صفة التجانس الطبيعي والكيميائي . ويكون منفصلاً عن الأجزاء الأخرى بسطح فاصل . وعليه فإن محلولاً سائلاً متجانساً هو في الواقع مجموعة وحيدة الصنف (الطور) . كما أن خليطاً لنوعين من البلورات هو مجموعة ثنائية تتألف من صنفين (نوعي البلورات) ، يختلفان فيما بينهما من حيث التركيب الكيميائي ، والبنية البلورية ويختلفان عن بعضهما بعضاً بسطح فاصل . كذلك فإن وجود شبكة منصهرة مع بلوراتها المتجمدة ، يمثل مجموعة ثنائية الصنف (ثنائية الطور) .

والمجموعة الكيميائية التي تتألف من عدة أصناف (أطوار) في سلوكها وما يترجمها من اختلافات ، وما يطرأ عليها من تغيرات وفقاً للظروف الخارجية (درجة الحرارة والضغط) ، إنما تخضع في كل ذلك لقاعدة هامة تعرف بقاعدة الصنف (أو قاعدة الطور) .

وتنص قاعدة الصنف (الطور) على الآتي : في أية مجموعة كيميائية متزنة وغير متجانسة ، فإن مجموع عدد الأصناف الموجودة مضافاً إليه عدد درجات الحرية المتاحة ، يكون مساوياً لعدد المكونات مضافاً إليه عدد العوامل الخارجية .

ويمكن صياغة قاعدة الصنف في معادلة رياضية كما يلي :

$$ص + د = م + ع$$

حيث :

- ص : عدد الأصناف (الأطوار) التي في حالة اتزان .
- د : عدد درجات الحرية المتاحة للمجموعة (عدد العوامل المتغيرة) .
- م : عدد مكونات المجموعة .
- ع : عدد العوامل الخارجية (مثلاً : درجة الحرارة ، والضغط) .

ومن المعادلة السابقة نحصل على الصيغة الآتية :

$$d = m + c - v$$

وهذه الصورة هي الأكثر شيوعاً لقاعدة الصنف .

وعدد درجات الحرية هو المقدار المستقل الخارجى ، أو العوامل الداخلية المتغيرة (درجة الحرارة ، والضغط ، ودرجة التركيز) التى قد تتغير دون أن تتسبب فى انخفاض صنف (طور) موجود ، أو فى تكوين صنف (طور) جديد فى المجموعة . وعند دراسة الاتزان الكيميائى ، ينظر إلى كل من درجة الحرارة والضغط كعاملين خارجيين يحددان حالة المجموعة الكيميائية .

وعند تطبيق قاعدة الصنف على مجموعات فلزية ، فإنه يمكن التغاضى عن تأثير عامل الضغط ، وعليه يصبح عدد المتغيرات الخارجية عاملاً واحداً فقط هو درجة الحرارة ، وتؤول المعادلة إلى الصورة التالية :

$$d = m + 1 - v$$

وفى مجموعة كيميائية بلغت حد الاتزان ، تكون لكل العوامل الداخلية والخارجية (التركيز ودرجة الحرارة على الترتيب) قيم محددة . ولما كانت درجات الحرية لا يمكن أن تقل عن الصفر :

أى أن :

$$m - v + 1 \leq \text{صفر}$$

$$v \geq m + 1$$

أى أن عدد الأصناف (الأطوار) فى مجموعة متزنة لا يمكن أن يزيد على عدد المكونات مضافاً إليها ١ (الواحد الصحيح) . وبناء عليه فإنه من المستحيل وجود أكثر من ثلاثة أصناف (أطوار) فى مجموعة ثنائية متزنة ، كما أنه من المستبعد كلية الحصول على أربعة أصناف (أطوار) فى مجموعة ثلاثية متزنة ، وهكذا . وإذا كان عدد درجات الحرية مساوياً للصفر ، حرف الاتزان فى هذه الحالة بأنه « غير متنوع » .

ويلزم لوجود مجموعة فى حالة اتزان غير متنوع ، توافر ظروف محددة تماماً : درجة حرارة ثابتة ، وتركيب كيميائى محدد لكل الأصناف (الأطوار) الناشئة .

وعلى سبيل المثال ، فإن فلزاً نقياً منصهراً عند درجة حرارة تقارب بالكاد نقطة تجمده ، يمثل مجموعة كيميائية أحادية (لها مكون واحد هو الفلز النقي) ، وتتكون من صنفين (منصهور الفلز وبمض بلورات منه قد مجسدت لبلوغه درجة حرارة تقارب بالكاد نقطة التجمد) لهما نفس التركيب الكيميائى تماماً :

وإذاً :

$$d = m + 1 - n \text{ ص}$$

$$d = 1 + 1 - 2 = \text{صفر}$$

بما يعنى أن الاتزان « غير متنوع » في هذه المجموعة الكيميائية . وفي هذه الحالة لا يمكن اعتبار درجة الحرارة (نقطة التجمد أو نقطة الانصهار) أو تنبهرها عشوائيا . إذ أنه توجد درجة حرارة واحدة فقط تكون عندها المجموعة في حالة اتزان ، هي درجة حرارة التجمد (أو الانصهار) لهذا الفلز . وإذا كان عدد الأصناف (الأطوار) أقل من أقصى عدد ممكن بواحد (الواحد الصحيح) ، فإن عدد درجات الحرية سوف يزداد هو الآخر بنفس المقدار ، وهو واحد ($d = 1$) ، وتوصف هذه المجموعة بأنها « أحادية التنوع » .

ولنأخذ على سبيل المثال ، سبيكة ثنائية تتكون من فلزين ، أى لها مكونان يكونان مجموعة ثنائية الصنف (طوران) في الحالة العامة عندما تبدأ في التجمد . في هذه الحالة : $d = 1$. وإذا كانت $d = 2$ لمجموعة ما ، فإنها تعرف بأنها « ثنائية التنوع » ، وعليه فإن المجموعة يمكن أن تكون مبرزة عند درجات حرارة وتركيز مختلفين .

وفي الأغراض العملية ، من الضروري الإلمام بحالة السبائك بصفة إيجابية ، ومعرفة تكوينها ، استنادا إلى كل من درجة الحرارة والتركيز . وإذا ما عرفت حالة سبيكة ما ، بدرجة تركيز معينها عند أية درجة حرارة ، فإنه من المستطاع التنبؤ بخواصها ، وبتنبؤها المعاملة الحرارية ، وقابليتها للتشوه اللدن (نتيجة لعمليات الطرق ، والتشكيل بالكبس ، وبالدفلة) كما يمكن توقع مسك هذه السبيكة في عمليات السباكة ، وملاصمتها لمختلف ظروف التشغيل . وهذا ما يعين في موضوع دراستنا لفلز الألومنيوم .

ويمكن تمثيل جميع التحولات التي تطرأ على سبيكة ما تبعا لدرجات الحرارة والتركيز بواسطة أشكال بيانية تبين منحنيات الاتزان لهذه السبيكة . ويتخذ عادة المحور الأفقي (السيني) لتيبان درجة التركيز ، في حين يتخذ المحور الرأسي (الصادي) لتيبان درجة الحرارة .

ومن حيث المبدأ ، تمثل منحنيات الاتزان نماذج محددة تماما من الاتزان : التفلوب التام أو الجزئي ، وجود أو اختفاء مركبات كيميائية ، إلخ ، ويمكن رسمها على أساس اعتبارات نظرية .

وفي بعض الحالات ، تتطابق منحنيات الاتزان الحقيقية للسبائك تطابقا تاما مع الرسومات البيانية التي تم استنباطها على أسس نظرية .

وعلى كل حال ، فإن منحنيات الاتزان تكون صحيحة فقط تحت الظروف التي تكون فيها العمليات الكيميائية الموجودة في المجموعة ، في حالة اتزان . وفي بنود لاحقة ، سوف نورد دراسة منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية لانصهار التسابك المختلفة مع فلز الألومنيوم ، وذلك لأهميتها نظريا وعمليا .

منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية :

يمكن تقسيم منحنيات الاتزان من حيث تذبذب عنصرى مجموعاتها في كلا الحالتين الصلبة والمتصهرة ، ومن حيث تكوينها لخلايط ميكانيكية أو مركبات كيميائية ، إلى الأقسام التالية :

١ - مجموعة ثنائية يؤلف مكوناتها خليطا ميكانيكيا من البلورات في الحالة الصلبة ، ويتذبذبان تذبذبا تاما في الحالة المنصهرة .

٢ - مجموعة ثنائية يتذبذب مكوناتها تذبذبا في كلا الحالتين المنصهرة والصلبة .

٣ - مجموعة ثنائية يتذبذب مكوناتها تذبذبا تاما في حالة الانصهار ، ولكن تذبذبا في الحالة الصلبة محدود ، ويقل بانخفاض درجة الحرارة .

٤ - مجموعة ثنائية يتذبذب مكوناتها تذبذبا تاما في حالة الانصهار ، ولكن تذبذبا محدود في الحالة الصلبة (سيالك لها تحول بريتيكى) .

٥ - مجموعة ثنائية يتذبذب مكوناتها تذبذبا تاما في حالة الانصهار ، ويكونان عند تجمدهما مركبات كيميائية :

(أ) مجموعة ثنائية يتذبذب مكوناتها تذبذبا تاما في حالة الانصهار ، ويؤلفان مركبات كيميائية ثابتة بعد التجمد .

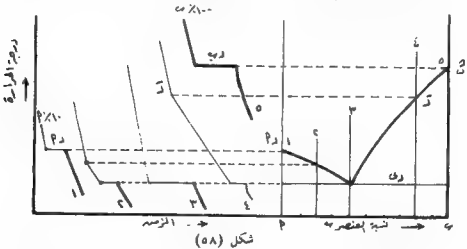
(ب) مجموعة ثنائية يؤلف مكوناتها بالتجمد مركبا كيميائيا غير مستقر ، يتحلل بإعادة التسخين - قبل انصهاره - خلال تفاعل بريتيكى ، مكونا محولا جامدا وصنفا مصهورا .

٦ - مجموعة ثنائية يتعرض مكوناتها إلى تحولات تأصلية (أى تحولات في البنية البلورية دون حدوث تغير في التركيب الكيميائي)

وفى كل نمط فكرة عامة موجزة عن كل من هذه الأقسام :

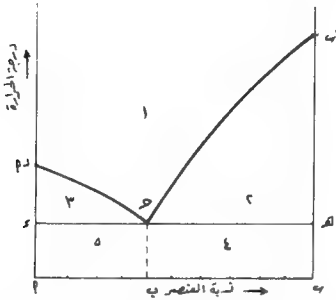
١ - مجموعة ثنائية يؤلف مكوناتها خليطا ميكانيكيا من البلورات في الحالة الصلبة ، ويتذبذبان تذبذبا تاما في الحالة المنصهرة :

يمكن تمثيل هذا القسم بالرسم البياني كما في الشكل (٥٨) ، وفي هذه الحالة تتكون البيكة



رسم منحنى الاتزان لمجموعة من المكونات تتذبذب تماما منصهرة وتكون مخلوطا ميكانيكيا بالتبريد

التي تمثلها المجموعة الثنائية من خليط ميكانيكي (غير كيميائي) من مكوناتها الأصليين .
وتستفيد الفلزات التي تكون مثل هذه الأنواع من السبائك نسقها البلوري ثانية . وقد أمكن
التأكد من ذلك بواسطة الفحص الإشعاعي الذي يظهر الخطوط المناظرة لكلا المكونين والميزة لها .
وبين الشكل طريقة مبثثة لرسم هذا المنحنى الاتزان بواسطة رسم منحنيات التبريد
(درجة الحرارة - الزمن) ، ثم توقيع نقط الانكسار المناظرة لترتيب السبيكة ودرجة
الحرارة لرسم منحنى الاتزان - ويتضح من الشكل أيضا ، أن منحنيات التبريد لكلا الفلزيين
عندما يكونان في حالة نقية ، يمران بفترة زمنية تثبت عندها درجة الحرارة تماما لانبعث
الحرارة الكامنة لانصهار الفلز ، بينما يتكسر الخط عند بدء التجمد في حالة السبيكة . ولكن
درجة الحرارة تأخذ في الانخفاض بمعدل آخر ، إلى أن يتم التجمد كلية فينكسر الخط مرة
أخرى ، نتيجة لتغير معدل التبريد .
وبين الشكل (٥٩) الرسم الكامل لمنحنى الاتزان مع توضيح الأصناف (الأطوار)
المتكونة .



شكل (٥٩) منحنى الاتزان لمجموعة من المكونات ١ ، ب يتداوبان تماما منصهرين
ولا يتداوبان في الحالة الصلبة فيكونان مخلوطا ميكانيكيا

- ١ - مصهور متجانس تماما
- ٢ - مصهور + بلورات من العنصر (ب)
- ٣ - بلورات من (ب) + يوتكتي (١+ب)
- ٤ - بلورات من (١) + يوتكتي (١ + ب)

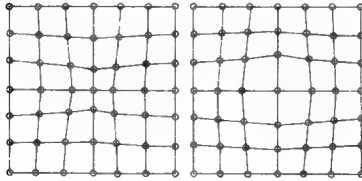
٢ - مجموعة ثنائية يتزاوب مكوناتها تزاوباً تاماً في كلا الحالتين المنصهرة والصلبة :

عند حدوث تزاوب غير محدود في الحالة الصلبة ، يجب أن يكون لكل من المجموعتين الثنائية نفس الطراز من النسق البلوري ، كما يجب أن يكون حجم ذراتهما متقاربين لدرجة كبيرة . فإذا ما زاد الفرق بين حجمي ذراتهما على ١٥٪ استحال تكوينهما لمحاليل جامدة نتيجة لتشوه الخادق النسق البلوري للعنصر المذيب ، إذ يتم تكوين المحلول الجامد بأسلوبين :

١ - الإحلال ، حيث تحمل ذرات العنصر المذاب محل بعض ذرات العنصر المذيب ، كما في الشكل (٥١) .

٢ - الالتجاء ، حيث تلجأ ذرات العنصر المذاب إلى المسافات الفاصلة بين الذرات وتكون فيها ، كما في الشكل (٥٢) . ويمكن أن تحدث هذه الحالة إذا كانت ذرات العنصر المذاب من الصنف بحيث لا تعمل على تشويه النسق البلوري للعنصر المذيب .

وبالنسبة للفرق بين حجمي ذرتي المكونين ، فكلما كان الفرق كبيراً بحيث لا يتمنى النسبة ١٥٪ ، كان هناك تشوه واضح في النسق البلوري للعنصر المذيب ، كما في الشكل (٦٠) .



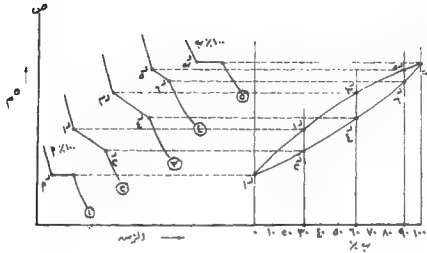
شكل (٦٠)

تشويه النسق البلوري للعنصر المذيب عند تكوين محلول جامد بطريقة الإحلال

فإذا ما زاد الفرق على ١٥٪ ، فإن تكون مركب كيميائي بنسق بلوري مختلف ، أو تكون خليط ميكانيكي من المكونين ، قد يكون أكثر احتمالاً وترجيحاً من وجهة نظر كيميائية تتعلق بالطاقة المطلقة لهذه المجموعة .

كما أنه من ناحية أخرى يميز تكون المحلول الجامد تقارب تقطبي الانصهار للمكونين ، ووقوع هذين العنصرين في موضعين متتاليين من بعضهما بعضاً في الجزيء الدوري . (انظر الملحق ١)

ويمثل الشكل (٦١) منحنى الاتزان النطلي لهذه المجموعة الثنائية ، وكيف يعرف مقدما شكل هذا المنحنى بفحص منحنيات التبريد .



شكل (٦١)

الجزء الأيمن : المحور الأفقي يمثل النسبة المئوية للمصهرى المجموعة . المحور الرأسى يمثل درجات الحرارة

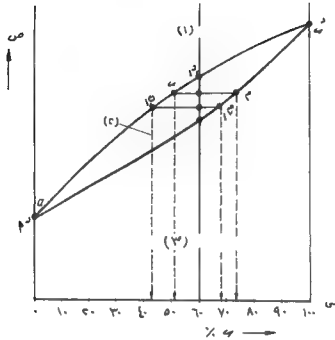
الجزء الأيسر : منحنيات التبريد للمجموعة الثنائية عند درجات تركيز مختلفة للمصهرين مع بعضهما بعضا :

- ١ - منحنى التبريد للمصهر أ النقي (١٠٠٪ أ) - منحنى التبريد للسبيكة (٧٠٪ أ، ٣٠٪ ب)
- ٢ - منحنى التبريد للسبيكة (٤٠٪ أ، ٦٠٪ ب) - منحنى التبريد للسبيكة (١٠٪ أ، ٩٠٪ ب)
- ٣ - منحنى التبريد للمصهر ب النقي (١٠٠٪ ب)

ويبين الشكل (٦٢) رسما كاملا لمنحنى الاتزان مبينا عليه جميع الأطوار المتكونة .

٣ - مجموعة ثنائية متداوب مكوناها تداوبا تماما في حالة الانصهار ، ولكن تداوبا في الحالة الصلبة محدود ويقل بانخفاض درجة الحرارة :

تناول هذا القسم بالتفصيل لأن عددا لا بأس به من سبائك الألومنيوم ينتهى بطريقة أو بأخرى لثل هذا القسم .



شكل (٦٢)

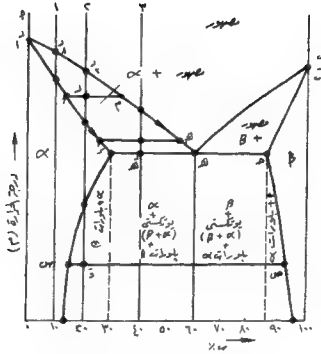
منحنى الاتزان لمجموعة ثنائية نمطية يتألف من مكونها تماماً في كلا الحالتين المنصهرة والصلبة :

- ١ - صنف (طور) منصهر
- ٢ - صنف (طور) منصهر + بلورات من المحلول الجامد (١ + ب)
- ٣ - محلول جامد (١ + ب) .

يوضح الشكل (٦٣) كيفية رسم هذا النوع من منحنيات الاتزان ، بينما يبين الشكل (٦٤) الرسم الكامل لمنحنى الاتزان مبيناً جميع الأطوار المتكونة . ويمثل الخطان α ، β ه على السبلة للمصهور .

تبدأ بلورات المحلول الجامد للفلز ب مذاباً في الفلز أ (الصنف α) في الترسب من السبلة المنصهرة خلال الخط α ه ، ويترسب المحلول الجامد للفلز أ مذاباً في الفلز ب (الصنف β) خلال الخط ب ه .

ويمثل الخطان ا د ، ب ج على الجمود . والمنطقة د تناظر أقصى تذبذب للفلز ب في الفلز ا عند درجة الحرارة البوتكتيكية (د ه) ، ونقطة ج هي أقصى تذبذب للفلز ا في الفلز ب عند نفس درجة الحرارة .



شكل (٦٤)

منحنى الاتزان النهائي للمجموعة الثنائية السابقة (أنظر شكل ٦٣)

بالمثل فإن التقطين (و، ي) يمثلان أقصى تذبذب للفلزين :
 ب في أ ، أ في ب على الترتيب عند درجة الحرارة العادية (حرارة الغرفة) وبين
 اللطآن د و ، ج ي تغير تذبذب الفلز ب في الفلز أ ، والفلز أ في الفلز ب ابتداء من درجة
 حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة اليوتكتيكية .

ويطبق قاعدة الصنف على هذه المجموعة عند النقطة اليوتكتيكية ه :

$$٢ = (م)$$

$$\text{عدد الأصناف (س)} = ٣ (\alpha, \beta, \text{مصبور})$$

إذن :

$$د = ١ + م - س$$

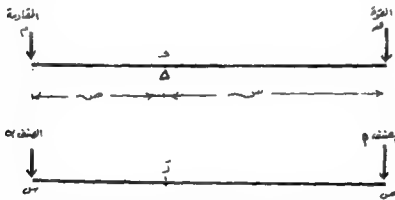
$$صفر = ٣ - ١ + ٢ =$$

عما يعني انعدام درجات الحرارة عند هذه النقطة ، أي أن هذا الاتزان هو اتزان وحيد
 غير متنوع .

والآن نعتبر مراحل تجمد السبائك ١ ، ٢ ، ٣ في الشكل (٦٤) . تبدأ السبيكة (١) في التجمد عند درجة الحرارة (د) وتتجمد كلية عند (د٣) . وتحتوى السبيكة المتجمدة فقط على بلورات من المحلول الجامد (cc) ، الذى لا يتعرض لتغيرات صنفية (طورية) بانخفاض درجة الحرارة حتى الحرارة المعتادة (درجة حرارة القرفة) . وتبدأ السبيكة (٢) في التجمد عند درجة الحرارة (د٣) وتنتهى عند (د٤) . وخلال عملية التجمد ، يتغير التركيب الكيميائى للصنف المنصهر تبعاً لخط السيولة ، ومن ثم فإن الصنف المتجمد يتغير باستمرار تبعاً لخط الجمود . ولذلك فإنه عند أية درجة حرارة (د) ، فإن التقطعين (م ، ن) بعدد التركيب الكيميائى للمنصهر وبلورات المحلول الجامد على الترتيب . وعند تجمد السبيكة كلية فإنها تتكون فقط من بلورات من المحلول الجامد (cc) . وباستمرار التبريد حتى (د٥) يصبح المحلول الجامد مفرطاً في التشبع . وعليه ، فإنه بانخفاض درجة الحرارة عن (د٥) ، يتحلل المحلول الجامد (β) وتنفصل عنه الكمية الفائضة من المكون ب على هيئة بلورات من الصنف (β) الذى يزداد مقدار وجوده كلما انخفضت درجة الحرارة . وإذن فإنه تحت درجة د٥ ، تحتوى السبيكة على الصنفين cc ، β (كما في الشكل) ، ويتغير التركيب الكيميائى لهذين الصنفين خلال التحليل د٥ ، ج على الترتيب . فثلاً عند درجة الحرارة د فإن التركيب الكيميائى للصنف cc يكون مثلاً بالنقطة س ، ويكون التركيب الكيميائى للصنف β مثلاً بالنقطة ص . ويمكن تعيين النسبة بين كتلتهما وزناً كما يلي :

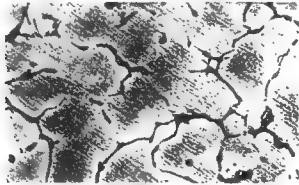
$$\frac{\text{كتلة الصنف cc}}{\text{كتلة الصنف } \beta} = \frac{د''ص}{د'س}$$

وهذه العلاقة في الميثالورجيا مشابهة لعلاقة القوة وذراعها في الميكانيكا (المثلة) إذ أن القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها (كما في الشكل ٦٥) .



شكل (٦٥) تشبيه توزيع كتلتي الصنفين cc ، β بالعلاقة بين القوة والمقاومة وذراعهما .

وعلى أساس التغيرات في كل من الطاقة ودجوة التركيز ، فإن نوى الصنف β تتكون أولا على الحدود الفاصلة بين حبيبات الصنف الأصل α . وبين الشكل (٦٦) ما يحدث في هذه الحالة لسبيكة الألومنيوم والنحاس . ولكن التبريد السريع (التسخية) لهذه السبيكة يحوق تكون بلورات الصنف β ، وبذلك تحصل خطأ على سبيكة متجانسة تماما بلغت حد التبريد المفرط عند درجات حرارة منخفضة . مثل هذا المحلول الجامد الذي تعرض للتبريد السريع يكون مغرطا في التشيع بالنسبة للمنصر ب ، ومن ثم فهو غير مستقر من الناحية الميتالورجية فيتعرض لتفكك بمجرد تسخينه ، بل وعند درجة حرارة الغرفة دون تسخين لبعض السبائك . ويزداد معدل التفكك بارتفاع درجة الحرارة التي يصل إليها بالتسخين . هذا الانفصال للصنف الزائد نتيجة لتفكك محلول جامد مفرط التبريد ، يكون مصحوبا بتغيرات كثيرة في خواص السبائك . ومن الخصائص المميزة لعملية التسخية زيادة الصلادة ، وتسمى الأصولد بالإزمان ، أو الإصلاد بالترسيب ، أو التعتيق .



شكل (٦٦)

انفصال الصنف الفائق من سبيكة الألومنيوم والنحاس ، وترسبه على الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، عندما تتاح الفرصة لهذا الصنف أن يتكون . ويمكن تلاقى حدوث هذا الترسب بالتسخية السريعة .

وتبدأ السبيكة (٣) في التجمد عند درجة الحرارة δ وتتجمد كلية عند δ_m . وخلال عملية التجمد ، يتغير تركيب الجزء المنصهر من السبيكة بصفة مستمرة خلال خط السبولة ، مقربا من التركيب اليوتكتي (النقطة ه) ، كما يتغير تركيب الصنف الجامد خلال خط الجمود متحركا صوب أقصى تذاب له (النقطة د) . وعند النقطة δ_m . يبلغ الصنف المنصهر التركيب اليوتكتي . وعندئذ تتجمد السبيكة تماما . ومن ثم يترسب المحلولان الجامدان α ، β مكونين سبيبات يوتكتية .

وتتكون السبكة المتجمعة من بلورات ابتدائية مشبعة تماما من المحلول الجامد ترسبت خلال درجتي الحرارة، β ، δ ، وغلوط يوتكتي تكون عند درجة حرارة δ ، ويشمل على المحلولين الجامدين α و β ، (تركيبها الكيميائي يمثل بالنقطتين د ، ج على الترتيب) .

وبانخفاض درجة الحرارة تنفكك البلورات α الابتدائية منها أو المحتواة في الخليط اليوتكتي ، نتيجة لانخفاض إذابتها للمعصر ب . ونتيجة لذلك ترسب بلورات من المحلول الجامد β من البلورات α . وباستمرار انخفاض درجة الحرارة يتغير التركيب الكيميائي المصنف α وبلورات β سواء الفائق منها أو الموجودة أصلا في المحلول اليوتكتي ، خلال الخليطين د و ، ج على الترتيب . وفي النهاية عندما تصل السبكة إلى درجة حرارة الفرة ، فإن التركيب الكيميائي للمصنفين α ، β يمكن تحديدهما بالنقطتين و ، ي .

وبدئى أن شبكة تركيبها الكيميائي هو التركيب اليوتكتي نفسه ممثلا بالنقطة ه (90% من المعصر ب) ، سوف تحتوي بعد تجمدها على حبيبات من الخليط اليوتكتي ($\alpha + \beta$) .

ولأهمية مثل هذا المنحنى من منحنيات الاتزان الكيميائي ، تمهدر بنا الإشارة إلى التغيرات التي تطرأ على السبائك التي لها نفس سلك هذا المنحنى .

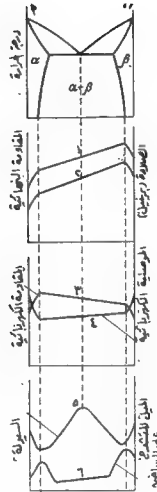
تتغير خواص هذا النوع من السبائك خلال منحنى في منطقة المراحل الجامدة المتجانسة ، ثم خلال خط مستقيم في المناطق التي يوجد فيها خليط من صنفين ، انظر الشكل (٦٧) .

وفي الحالة الثانية ، فإن تقاطع النهايتين للخط المستقيم تناظران خواص المراحل الجامدة المشبعة تماما .

ويلاحظ أن الخواص في المناطق التي تحتوي على صنفين (α ، β) تعتمد على درجة انتشار الخليط . وبالطبع لا تتطابق خواص المخاليط المنتشرة انتشارا تاما مع هذا الخط المستقيم .

ولقد أمكن بمواصلة البحث ، التوصل إلى علاقة محددة بين تركيب شبكة وخواصها كنها (انظر الشكل ٦٧) . وكلما كانت درجة حرارة التجمد أكبر ، كلما قلت سيولة السبكة ، كما أنه كلما كانت المسافة بين خطي السيولة والجسود أكبر (في اتجاه أفق) ، كلما كان هناك نزوع أكبر إلى تكون انزالية تفرعية في داخل التركيب البنيائي للسبكة . كما وجد عمليا أن السيولة تزداد زيادة ملحوظة ، في حين تقل الفرصة لتكون شذوخ على الساخن في السبائك التي تكون مخاليط يوتكتية عند تجمدها .

وبالسبائك الواقعة في المناطق التي توجد بها محاليل جامدة ، تكون لها مطيلية عالية ، ومن ثم فإنها تكون طيبة ، ولها قابلية ممتازة لتشكيل بالأساليب المختلفة كالدرقطة والطرق والكبس



شكل (١٤)

العلاقة بين الخواص وتكوين مجموعة ثنائية لها ذاتية محدودة في الحالة الصلبة :

١ - المقاومة النهائية كجم / م^٢

٢ - الصلابة (عدد برينل)

٣ - المقاومة الكهربائية

٤ - الموصلية الكهربائية

٥ - السهولة

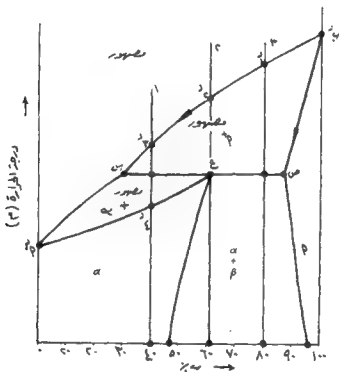
٦ - النزعة لتكوين شعوخ على السطح

وغيرها . أما التشوه اللدن للبياتك التي تحتوي على مخلوط من أصناف (أطوار) متعددة فيكون أكثر صعوبة ، وتقل قابلية مثل هذه البياتك لتشكيل بطرق الضغط ، فهي لا تستجيب لها بسهولة .

وعند وجود تركيب يوتكتي في بتيان معدني ، فإن مطيلته تقل إلى أقصى حد لها . ونتيجة لذلك فإن أقصى تذبذب عند درجة الحرارة اليوتكتية هو الحد الأعلى لتركيز البياتك التي لها قابلية لتشكيل .

٤ - مجموعة ثنائية يتطاولب مكوناتها تداوياً تماماً في حالة الانصهار ، ولكن تداوياً محدوداً في الحالة الصلبة (سبائك لها تحول بريتكى) :

يبين الشكل (٦٨) منحنى الاتزان لهذه السبيكة الثنائية . ويختلف المنحنى من هذا النوع عن النوع السابق (الشكل ٦٧) في أن بلورات المهلول الجامد β التي ترسب في أول الأمر عند بدء التجمد لا تلبث أن تتفاعل ثانية مع السبيكة المنصهرة بتركيب كيميائي محدد لتكوين بلورات جديدة من المهلول الجامد α . ويحدث هذا التفاعل ، أو هذا التحول ، عند درجة حرارة ثابتة (مثله كمثل التحول اليوتكتي) ويعرف في هذه الحالة بالتحول البريتكى .



شكل (٦٨) منحنى الاتزان لسبيكة تتعرض لتحول بريتكى :



• - مجموعة ثنائية يتألف من مكوناتها تآلفاً تاماً في حالة الانصهار ، و يكونان عند تجمدهما

مركبات كيميائية :

ينشأ في كثير من المجموعات الفلزية ، عند تسابكها ، مركب أو عدة مركبات كيميائية .
وتنقسم المركبات الكيميائية إلى أنواع ثلاثة رئيسية هي :

• مركبات تكافؤية .

• مركبات إلكترونية .

• مركبات التجاذبية .

• المركبات التكافؤية : تتميز هذه المركبات بصفة مميزة ، هي عدم تآلف مكوناتها تآلفاً تاماً من الناحية السليمة . ومن النادر أن تتكون هذه المركبات في السبائك الفلزية . وفي أغلب الأحوال تتحد المكونات في مركبات كيميائية لا تخضع لقواعد التكافؤ البسيطة .

• المركبات الإلكترونية : هذه المركبات لها أهمية كبيرة في المجموعات الفلزية . وللمركبات من هذا النوع نسبة محددة لعدد الإلكترونات التكافؤ إلى عدد الذرات ، أي تكون لها نسبة إلكترونية محددة . وعليه . فهناك سلسلة من المركبات لها جميعاً نسبة إلكترونية محددة هي ٣ : ٢ ، وسلسلة أخرى لها النسبة ٢١ : ١٣ ، وثالثة لها النسبة ٧ : ٤ . وكل نسبة من هذه النسب المحددة تتناظر نمطاً محدداً من النسق البلوري . فكل المركبات التي لها النسبة الإلكترونية ٣ : ٢ يكون نسقها البلوري من نوع متمركز البلورة ومن هذه المركبات : نح (لو) (نحاس - ألومنيوم) ، نك (لو) (نيكيل - ألومنيوم) ، ح (لو) (حديد - ألومنيوم) وغيرها . وتعرف هذه المركبات بالصنف β .

وبعض المركبات مثل المركب نح (لو) (نحاس - ألومنيوم) وغيره لها النسبة الإلكترونية ٢١ : ١٣ ، ونسقها البلوري على هيئة مكعب معقد التكوين ، وتعرف هذه المركبات بالصنف α وهكذا .

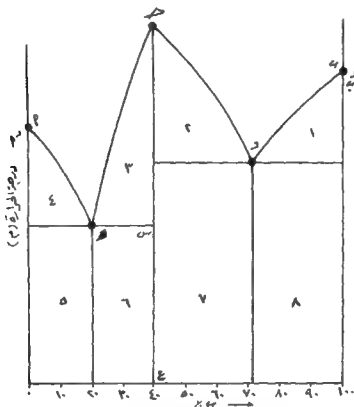
• المركبات الالتجاذبية : يميل عدد كبير من الفلزات إلى تكوين هذا النوع من المركبات الكيميائية ، على شكل كبريدات وترييدات وغيرها . باتحادها مع العناصر : الكربون ، والهيدروجين ، والأكسجين ، والفلور . وهذه العناصر ذرات صغيرة الحجم يمكنها الالتجاذب إلى المسافات البينية بين ذرات الفلزات المذابة لها . وتنظم ذرات المركبات الالتجاذبية غالباً في نسق بلوري مكعب أو سداسي الشكل حيث تدلف ذرات المنصر المذاب خلاله لتشكل فجوات محددة أو مواضع خالية .

وتختلف المركبات الالتجاذبية عن المحاليل الجامدة الالتجاذبية ، إذ يختلف نسقها البلوري من النسق البلوري للفلز الذي تتكون منه .

• (١) مجموعة ثنائية يتخلوب مكوناتها تداوياً تماماً في حالة الانصهار، ويؤلفان مركبات كيميائية

ثابتة بعد التجمد :

يبين الشكل (٦٩) منحنى التوازن لمجموعة ثنائية من هذا القسم . ويوضح الرسم البياني أن الفلزين أ ، ب يكونان مركبا كيميائيا أن B_m له نقطة انصهار ثابتة، هي النقطة جـ .



شكل (٦٩) منحنى الإيزان لمجموعة ثنائية يتكون من علاصها مركب كيميائي ثابت :

الخط حـ س ع (٤٠٪ ب) يمثل المركب الكيميائي الثابت أن ب م

١ - مصهور + بلورات من ب ٢ - مصهور + أن ب م

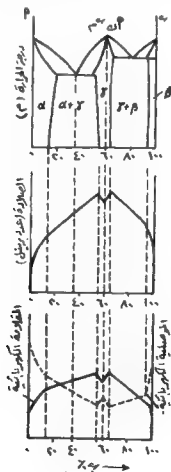
٣ - مصهور + أن ب م ٤ - مصهور + بلورات من أ

٥ - بلورات من أ + يوتكتي (أ + أن ب م) ٦ - أن ب م + يوتكتي (أ + أن ب م)

٧ - أن ب م + يوتكتي (ب + أن ب م) ٨ - بلورات من ب + يوتكتي (ب + أن ب م)

وبالفحص المجهرى ، يلاحظ وجود مركب كيميائى كيميائيات متعددة السطوح ، ومنفصلة تماما كما في حالة الفلز النقي .

ووجود مثل هذا المركب الكيميائى في الشكل ، يكون بمثابة إسقاط رأسى يناظر التركيب الكيميائى لهذه السبيكة ، ويقسم الشكل إلى جزئين ، يمكن اعتبار كل منهما منعنى ائزان مستقلى ، الأول يشمل المنصر أ والمركب أن ب م ، والآخر يشمل الفلز ب والمركب أن ب م . ويتصلان ممّا خلال المركب الكيميائى ، أن ب م وبين الشكل (٧٠) العلاقة بين خواص السبائك التى من هذا النوع وبين تركيبها الكيميائى . ومن السمات المميزة لهذه المركبات الكيميائية صلابتها الزائدة . ومقاومتها العالية للكهرباء ، وقصافتها الكبيرة ، ولذلك فهي غير طيعة ، ولا تستجيب للضغط والكبس ، ولا تناسب أعمال التشوه اللدن .



شكل (٧٠)

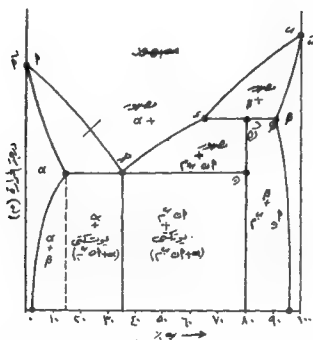
العلاقة بين الخواص والتكوين لمجموعة ثنائية يتكون خلالها مركب كيميائى ثابت .

هـ (ب) مجموعة ثنائية يلاف مكوناتها بالتصعيد مركباً كيميائياً غير ثابت ، ويعطل بإعادة التسخين قبل انصهاره خلال تفاعل بريكني مكوناً محلولاً جامداً ومنطقاً منصهرأ :

يوضح الشكل (٧١) الرسم البياني لمنحنى الاتزان لهذه المجموعة . ويقع المركب الكيميائي $\alpha\beta\gamma$ على الإحداثي الرأسى الذى يناظر ٨٠٪ من المنصر ب . ويتكون هذا المركب عند درجة الحرارة د نتيجة لتحول بريكني بين الصنف المنصر الذى يناظر تركيبه الكيميائي النقطة د وبين المحلول الجامد β ذى التركيز الأقصى الذى تمثله النقطة ا . ويمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلة التوضيحية التالية :



مثل هذا المركب الكيميائي يتكون فقط فى السبائك التى لها تركيبها الكيميائي المحدد دون غيره .

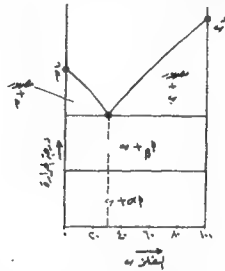


شكل (٧١) منحنى الاتزان لمجموعة يتكون من علائها مركب كيميائي غير ثابت

٩- مجموعة ثنائية يتعرض مكوناتها لتحويلات تآصلية :

تحدث التحويلات الصنفية في الحالة الصلبة في المجموعات التي يتعرض أحد مكوناتها ، أو مكوناتها معا ، إلى تحولات تآصلية .

ويبين الشكل (٧٢) منحنى الاتزان لكل هذه الحالة ، عندما يتجدد مكونا المجموعة كفلزين نقين ، ولكن يتعرض المكون α بانخفاض درجة الحرارة إلى شكلين تآصيلين . وهذا الشكل يمثل أبسط أنواع هذا القسم ، فهناك ما هو أكثر تعقيدا منه .



شكل (٧٢)

منحنى الاتزان لمجموعة ثنائية لأحد مكوناتها
صورتان متآصلتان تظهران بالتبريد

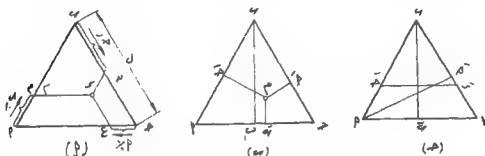
منحنيات الاتزان لمجموعة ثلاثية :

لما كانت البناك التي تستخدم على نطاق واسع في الأغراض الهندسية والعملية ، تتألف من ثلاثة عناصر فأكثر ، فإنه من الضروري دراسة منحنيات الاتزان لمجموعات تتعدد مكوناتها . مثل هذه المنحنيات تتيح وسيلة ميسرة للتعرف على التركيبات الكيميائية للسيكة حتى يمكن اختيار الملائم منها . ومن ناحية أخرى فهي تساعد على تفهم واستيعاب مختلف العمليات التي تحدث في مثل هذه المجموعات .

ولقد تم في الواقع عمل العديد من منحنيات الاتزان لمجموعات الثلاثية . ويستفاد منها عليها على نطاق واسع .

ومنحنى الاتزان لمجموعة ثلاثية نموذج ثلاثي الأبعاد ، يتم رسمه على أساس مثلث متساوي الأضلاع . ويمكن معرفة اتركيز المكونات في المثلث بنفس المقياس ، ويسمى « مثلث التركيز » . ويمرر توزيع المكونات على أركان المثلث الثلاثة ، نبياً تمثل أضلاع المثلث المجموعات الثنائية التي تتألف من كل عنصرين . وكل نقطة داخل المثلث تحدد التركيب الكيميائي للسيكة الثلاثية .

وهناك قاعدة هتمية هامة ، هي إحدى خواص المثلث المتساوي الأضلاع ، هذه الخاصية هي أن الخطوط الثلاثة (دن ، دم ، د ع) ، الشكل (٧٣) التي دبت موازية للأضلاع الثلاثة من النقطة د داخل المثلث ، تساوي في مجموعها (دن + دم + د ع) طول ضلع المثلث ل الذي اعتبر مثلا النسبة ١٠٠٪ من التركيز .



شكل (٧٣) طرق تحديد التركيب الكيميائي لمجموعة ثلاثية

فلذا أردنا معرفة التركيب الكيميائي لسبيكة تمثلها النقطة د . نرسم منها ثلاثة خطوط موازية لأضلاع المثلث ، والأطوال المناظرة للخطوط تعطى النسبة المئوية للمكونات أ ، ب ، ج في السبيكة ، كما في الشكل .

ويمكن تحديد التركيب الكيميائي بطريقة أخرى . في هذه الحالة ، يتخذ ارتفاع المثلث مثلا ١٠٠٪ . والنظرية الهتمية التي تستخدم في هذه الحالة تنص على أن مجموع ثلاثة خطوط تقام عموديا على الأضلاع الثلاثة من نقطة في مثلث متساوي الأضلاع تساوي مقدارا ثابتا هو طول ارتفاع المثلث (أي أن $ب \cdot ب' + م \cdot م' + د \cdot د' = ١٠٠$) ، كما في الشكل (٧٣ ب) . واستنادا إلى خواص المثلث متساوي الأضلاع ، يمكن بسهولة توضيح ما يلي :

١ - كل السبائك التي تقع تركيبها الكيميائي على خط مستقيم يتصل بأحد رؤوس المثلث على الضلع المقابل ، يكون لها النسبة للتركيب الكيميائي في عنصرين . فمثلا ، السبائك التي تقع على الخط أ - أ' تكون النسبة بين مكوناتها ب ، ج ثابتة ، الشكل (٧٣ ج)

٢ - جميع السبائك التي تقع على الأعمدة الساقطة من رؤوس المثلث (ارتفاعات المثلث) الشكل (٧٣ ج) ، لها نفس التركيب الكيميائي لمكونين اثنين . فمثلا السبائك التي تقع على الارتفاع ب ب' تحتوي على كميات متساوية من المكونين أ ، ج .

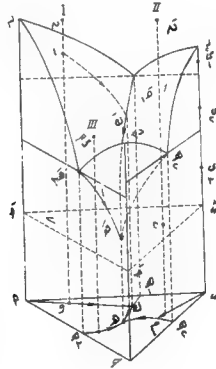
٣ - جميع السبائك التي تقع على خط يوازي أحد أضلاع المثلث (الخط ح - د) يكون لها نفس المحتوى من المكون الذي يقع على الرأس المقابل (الرأس ب في الشكل ٧٣ ج)

ويمثل التركيب الكيميائي للسبائك الثلاثية على سطح مستو ، بينما المطلوب أن يكون هناك نموذج جسم ثلاثي الأبعاد لتوضيح التحولات الحرارية .

ولرسم منحنى لمجموعة ثلاثية ، تم الخطوة الأولى تماما كما في حالة المجموعة الثنائية ، حيث ترسم منحنيات التبريد على محورين يمثلان درجة الحرارة والزمن ، لسبائك لها تركيبات كيميائية مختلفة . وعند إتمام ذلك ، فإن النقط التي تمثل السبائك المختلفة يجرى توقيدها على مثلث التركيز . ثم تقام أعمدة على مستوى مثلث التركيز عند النقط المناظرة . بعد ذلك يجرى توقيع درجات الحرارة للنقط الحرجة لكل سبيكة على العمود المناظر . ويتم رسم الأسطح التي تمر بالنقط الحرجة ، بنفس الطريقة التي رسمت بها الخطوط خلال النقط الحرجة في المجموعات الثنائية . وبذلك نحصل على جسم ذي أبعاد ثلاثة يمثل المجموعة الثلاثية تمثيلا كاملا .

وتقسم منحنيات الاتزان للمجموعات الثلاثية ، تبعا لنفس الأسلوب الذي قسمت به منحنيات الاتزان للمجموعات الثنائية ، أى وفقا لتذبذب المكونات في حالتى الانصهار والصلابة ، ووجود مركبات كيميائية .

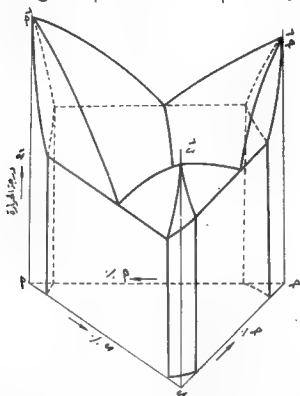
ويوضح الشكل (٧٤) رسما بيانيا لمجموعة ثلاثية ، يتذبذب مكوناتها تذبذبا تاما في الحالة المنصهرة ، وتكون غلوطا ميكانيكيا بسيطا عند تجمدها .



شكل (٧٤)

نموذج جسم لأسطح التوازن لمجموعة ثلاثية
تتذبذب مكوناتها تماما في حالة الانصهار
وتكون غلوطا ميكانيكيا في حالة الصلابة

وبين الشكل (٧٧) مجسماً لمنحنيات ائزان مجموعة ثلاثية محدودة التذبذب في الحالة الصلبة وفي أغلب الأحيان ، تستخدم مقاطعات مينة خلال الجسم ، لتوضيح التحولات والتغيرات



شكل (٧٧) مجسم لمنحنيات ائزان مجموعة ثلاثية محدودة التذبذب في الحالة الصلبة

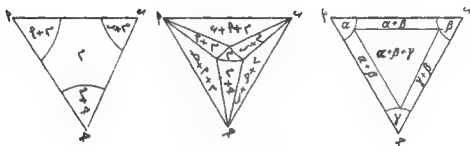
المختلفة التي تطرأ على المجموعة . وهناك طرق عدة للحصول على مثل هذه المقاطعات :

١ - عمل مقاطعات أفقية في الجسم ، سواء على هيئة مقاطعات متساوية الحرارة ، وتمثل الصنف والتركيب البنائي لجميع البائنات عند درجة حرارة مينة ، أو كإسقاطات لأسطح وخطوط مينة على مستوى أفقي (مثلث التركيز) .

٢ - عمل مقاطعات رأسية ، إما موازية لقطع من أشباع مثلث التركيز ، وإما مارة بأحد رؤوسه ، وفي بعض الأحيان ، تؤخذ مقاطعات خاصة تبين التركيب البنائي عند جميع درجات الحرارة ، ولكنها فقط لتركيبات كيميائية محددة للمجموعة الثلاثية .

ويوضح الشكل (٧٨) قطاعات متساوية الحرارة للمجسم السابق تم الحصول عليها بواسطة مستويات أفقية عند درجة حرارة فوق دجى الحرارة اليوتكتية الثنائية والثلاثية (و) وعند درجة حرارة أعلى قليلا من نقطة اليوتكتي (هـ) . ويوضح الشكل (٧٨) قطاعات أفقية تحت النقطة اليوتكتية لبائك تكون محاليل جامدة معقدة .

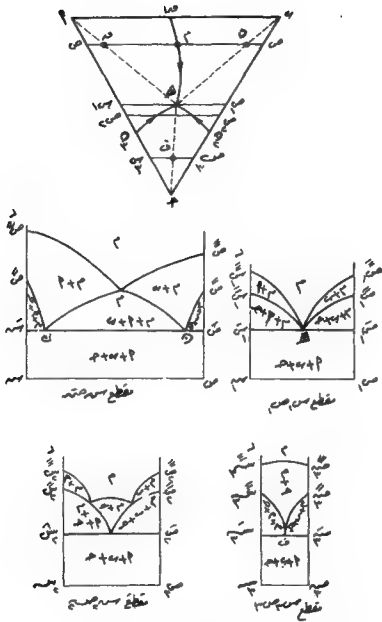
ويبين الشكل (٧٩) عدة قطاعات رأسية في مستويات توازى الضلع ا ب من مثلث التركيز للمجسم المبين بالشكل (٧٧) .



شكل (٧٨)

قطاعات متساوية الحرارة لمجسم أسطح الإنزنان الحرارى لمجموعة ثلاثية (الشكل ٧٧) :

من : مصحور



شكل (٧٩)

نظامات رأسية في جسم مجموعة ثلاثية

م : مصور

الباب الرابع

المعالجة الحرارية لسبائك الألومنيوم

الألومنيوم كثيره من الفلزات ، يتساك وهو منصهر مع العديد من العناصر الأخرى . فيتذاب معه كل من النحاس ، والمغنسيوم ، والسيليكون ، والمنجنيز ، تذابا تاما دون حدود في الحالة المنصهرة ، ولكن تذابها معه في الحالة الصلبة يكون محدودا .

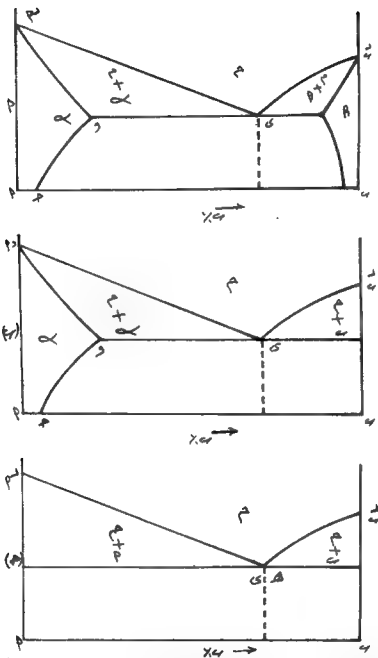
وتضاف العناصر السببكية إلى الألومنيوم ، بهدف إنتاج سبائك تتمتع بخواص يفترق إليها الألومنيوم الفلزى الذى يقسم بالطراوة والضعف . فيضاف المغنسيوم ، والنحاس ، والمنجنيز ، للحصول على سبائك الألومنيوم التى تشغل بواسطة الضغط أو الكبس ، حيث تؤدي تلك العناصر إلى تحسين الخواص الميكانيكية لهذه السبائك .

ويمكن بإضافة نسب قليلة من النحاس ، والمغنسيوم ، والمنجنيز ، للحصول على تشكيلة من سبائك الألومنيوم تعرف باسم « ديجرالوين » تضارع في متانتها بعد تصلبها إزمانيا (أى تركها لوقت كاف حتى تتصلد) فولاذ الإنشادات الكهربوى .

ويضاف السيليكون بكميات كبيرة في سبائك الألومنيوم المخصصة لصناعة المسبوكات ، حتى يكسبها سولة عالية وهى منصهرة ، ويقلل من كثرة الانكماش الحسمى السببكية في أثناء تجمدها . ولكن الخواص الميكانيكية لهذه السبائك أقل جودة من السبائك التى تشكل بواسطة الضغط .

وإضافة الحديد تزيد من متانة الألومنيوم إلى حد ما ، ولكن في الوقت نفسه ، تقل مطيئته ومقاومته للصدأ . ويعتبر الحديد من أضر الشوائب بالألومنيوم ، إذ يتكون المركب « ألومينات » الحديدية ، الذى يقلل إلى حد بعيد من قابلية الألومنيوم للتشكيل بالطرق المختلفة .

وتستطيع سبائك الألومنيوم أن تتحمل بسهولة تأثير القوى التى تؤثر عليها على شكل صدمات إذ تكتسب هذه السبائك كمية من طاقة الصدمة تفوق تلك التى يكتسبها الصلب ثلاث مرات . وعموما ، يمكن القول بأن سبائك الألومنيوم في مجموعة ثنائية مع عنصر آخر ، يمكن أن يتبع منحى التوازن التالى (الشكل ٨٠) على محور أو آخر . وقد يتحور هذا المنحى فيقلص قليلا لينحى إلى الصف ب فيصبح منحى التوازن كما في الشكل (٨٠ ب) فإذا اخضع الصف cc اتخذ منحى التوازن هيئة بعممة ، كما في الشكل (٨٠ ج)



شكل (٨٠) الصورة العامة لمنحنيات الاتزان لتسايفك الألومنيوم مع غيره من العناصر
 م : مشهور

وتجس في دراسة هذه المنحنيات الأجزاء المتطرفة إلى أقصى اليسار ، حيث تحتوي السبيكة على الأقل على ٩٠٪ من الألمنيوم (الرقم ٩٠ اختياري، حيث أن حدود نسبة الألمنيوم في سبائكها هي ٩٠-٩٩,٩٩٪).

وبالرجوع إلى الشكل العام لمنحنى التوازن ، الشكل (٨٠ أ) ، يمكن تقسيم سبائك الألمنيوم إلى قسمين :

١ - سبائك سبكية : وهي التي تقع على يمين الخط ج و . وهذه السبائك ، وبالأخص القريبة منها من نقطة اليوتكتي ، خواص سبكية جيدة .

٢ - سبائك تشكيلية : وهي التي تقع على يسار الخط ج و . ويؤدي تسخين هذه السبائك إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة اليوتكتي التي تناظر النقطة ي ، إلى تذبذب الأصناف الفائقة ، فتصبح السبائك وحيدة الصنف وتكون لها قابلية عالية للتشكيل بالكبس .

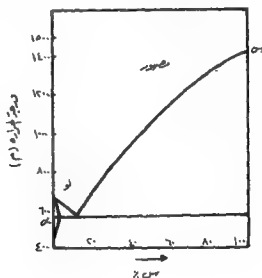
وتنقسم السبائك التشكيلية بدورها إلى نوعين :

(أ) نوع قابل لزيادة مقاومته بمعالته حرارياً ، وهي السبائك التي يقع تركيبها الكيميائي بين النقطتين ه ، هـ .

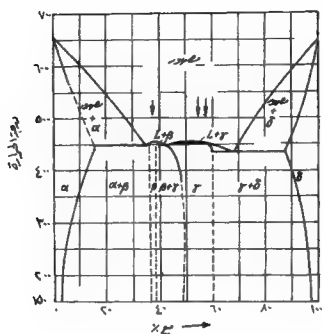
(ب) نوع غير قابل لزيادة مقاومته بمعالته حرارياً ، وهي السبائك التي يقع تركيبها الكيميائي على يسار النقطة هـ .

ومن المفيد الإلمام بمسلك الألمنيوم في سبائكه ، مع بعض العناصر السبكية المتداولة والتي تكون مجموعة ثنائية .

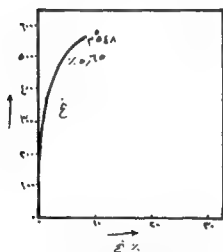
تبين الأشكال (٨١) و (٨٢) و (٨٣) منحنيات الاتزان لسبائك الألمنيوم مع العناصر الآتية : السيليكون ، المغنسيوم ، النحاس .



شكل (٨١)
منحنى الاتزان
ألمنيوم - سيليكون



شكل (٨٢)
منحنى الاتزان : ألونيموم - مغنسيوم



شكل (٨٣)
منحنى الاتزان : ألونيموم - نحاس

ميتالورجيا المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم :

الميتالورجيا بمضمونها العلمي ، موضوع متخصص إلى حد بعيد ، إذ أن التركيب البلوري للمعدن يحتاج إلى دراسة متعمقة واستيعاب كامل . ومع ذلك نقدم فيما يلي بعض اعتبارات أساسية تمكن من تفهم واستيعاب هذا الموضوع الهام .

تحتوي سبيكة الألومنيوم المنصهرة على عدة عناصر مختلفة قد يبلغ عددها عشرين ، بعضها منها يتذاب وتذابها تماما ، وبعضها الآخر لا يتذاب بل يوجد مختلطا فقط . وعليه فإنه إذا سمح للسبيكة المنصهرة أن تبرد ، فإنها تصل إلى نقطة تبدأ عندها في التجمد . وعند هذه النقطة تبدأ بعض البلورات في التكون وتكون بمثابة نوى للبلورات التالية . ومع مواصلة التبريد ، يتكون المزيد من البلورات على البلورات الأولى ، وهذه البلورات تبدأ في تكوين حبيبات بلورية .

بالإضافة إلى ذلك ، تتكون بعض المركبات الكيميائية من اتحاد الفلزات بعضها مع بعض . وقد تتجمد هذه المركبات بصورة منفصلة مرسية ، إما بين الحبيبات خلال الحدود الحبيباتية ، وإما داخل الحبيبات ذاتها فيما بين البلورات . كذلك قد تنفصل عناصر أخرى بينها خلال عملية التبريد إلى درجة حرارة الجو المتدنى (درجة حرارة الغرفة) . ومن الواضح أنه نتيجة لذلك ، نحصل على تركيب معقد للغاية .

التصلد نتيجة للتشغيل :

عما سبق ، وبالتفصيل من تلك الحسيات الإضافية المرسية ، يمكن اعتبار أن سبائك الألومنيوم تتكون بصفة عامة من حبيبات ، وهذه بدورها تتألف من بلورات . ويمكن للحبيبات المتجاورة أن تنزلق وتفساب بالنسبة لبعضها بعضا في شتى الاتجاهات المختلفة . ومن ثم يمكن القول بأن هذه الحبيبات « مستويات انزلاق » مختلفة ومتعددة .

ويوصف الفلز بأنه « طرى » إذا كان لبلورته مجموعة كاملة من مستويات الانزلاق لم يشغل منها مستوى قط ، أي لم يستنفذه المعدن نتيجة لعدم حدوث انزلاق .

قلنا « لم يشغل منها مستوى قط » ، إذ أنه بتطبيق قوة ميكانيكية صغيرة ، فإن هذه الحبيبات سوف تنزلق خلال أحد مستويات الانزلاق لمقدار معين . وعند تعرض فلز طرى لطرق أو الشد ، أو إذا تغيرت أبعاده ميكانيكيا بطريقة أو بأخرى ، بواسطة قوة عند درجة حرارة الغرفة ، فإن البلورات المتجاورة سوف تتحرك خلال أحد مستويات الانزلاق . ولكن بسبب حدوث الانزلاق خلال أحد المستويات بمقدار معين ، فإنه سرعان ما تبلغ الحركة مداها خلال هذا المستوى . ومن ثم كان تطبيق مزيد من الشغل أمرا ضروريا ، حتى يمكن أن يستمر الانزلاق خلال مستويات انزلاق أخرى .

ومع ذلك ، فإن المستبعد تماما أن توجد مستويات الانزلاق المتتالية في أوضاع موازية ومناسبة بالنسبة لاتجاه القوة المسلطة على المعدن . وعليه فإن النتيجة المتنبية لذلك ، هي أنه بتبسيط نفس القوة كاسبق ، يحدث تغير في الشكل أقل كثيرا مما لو كانت مستويات الانزلاق موازية تماما لهذه القوة . ويتمرض التفلز لمزيد من الشغل المبذول ، فإن مقاومة المعدن للتغير في شكله تزداد ، وعدة ما يقال إن المعدن قد تصلد نتيجة لتشغيله .

وهكذا فإنه بتغير شكل المعدن بتشغيله ميكانيكيا ، تستنفد مستويات الانزلاق الواحد تلو الآخر ، ومن ثم يصبح المعدن تدريجيا صلبا ، فأكثر صلادة ، ثم يبدأ اعتراضا على تقبل المزيد من الشغل .

من ذلك يمكن استنتاج ، أن المهادن التي لا تتميز بعدد كبير من مستويات الانزلاق ، سرعان ما تصل إلى نقطة يتطلب الأمر عندها تبسيط قوة كبيرة لمواصلة تشغيلها ، أو قد يهَار عنها ببيان المعدن إذا ما استنفدت جميع مستويات الانزلاق .

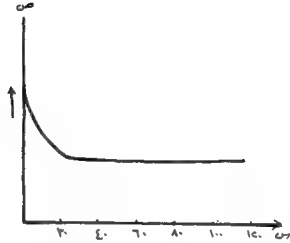
ومن الممكن أن يستعيد المعدن قابليته الأولى للتشغيل ، بنشوء مجموعة جديدة من البلورات ، لها مجموعتها الخاصة من مستويات الانزلاق التي لم تستغل بعد . ويتم ذلك بتشغيل المعدن الذي سبق تشغيله (تصلده) إلى درجة حرارة يميل عندها المعدن تكوين بنيانه البلوري من جديد .

ودرجة الحرارة هذه تسمى « نقطة إعادة التبلور » أو « درجة حرارة إعادة التبلور » . ولكي تستعيد سبائك الألومنيوم بنيانها البلوري من جديد ، يلزم تسخينها إلى درجات حرارة منخفضة نسبيا ، وتقع بين ١٤٨ - ٤٠٠°م . ويمكن التحكم في هذه العملية بسهولة ، كما أنه من الممكن الحصول على نتائج طيبة يمكن التمويل عليها .

فإذا كنا بصدد تشكيل فتجان من الألومنيوم من قرص دائري مسطح من التفلز بواسطة السحب العميق ، فبدلا من محاولة إنتاج الفتجان من القرص المسطح بعملية تشكيل واحدة ، يمكن الحصول على الشكل النهائي على عدة خطوات أو مراحل ، تتخللها عملية تلدين (تخمير) بين كل خطوة وبالتالي لها ، وذلك لتصحيح وتخفيف الإصلاذ الناتج ، من التشغيل . وهذه الكيفية يمكن المحافظة على كل خطوة في حدود التشغيل العمل للمادة ، فلا يتم سحب القرص إلى ما بعد النطقة التي يؤدي عندها التشغيل ، وما يصاحبه من إصلاذ إلى حدوث شقوق أو انهيار المعدن .

من هنا يمكن فهم السبب في أن عمليات تشكيل سبائك الألومنيوم ، تتضمن خطوات متعاقبة من الضغط أو الكبس ، تتخللها سلسلة من المعاملات الحرارية .

وبين الشكل (٨٤) تأثير زمن التلدين (التخمير) عند ٢٥٠°م على صلادة سبيكة من الألومنيوم (نسبة المنسيوم ٢,٨٧٪) ، فتجد أن الصلادة قد انخفضت انخفاضاً حاداً في غضون دقائق لا تزيد على المشر ، نتيجة إعادة تبلور هذه السبيكة ، وبين السهم ظهور أولى حبيبات التبلور التي باكثافتها تجتبت قيمة الصلادة .



شكل (٨٤)

تأثير زمن التلدين « التخمير » عند ٢٥٠°C ، على صلادة سبيكة الألومنيوم (بها مغنسيوم ٢,٨٧ %) :

المحور س : زمن التلدين بال دقيقة المحور ص : الصلادة

دور عنصر الوقت في عمليات المعاملة الحرارية :

من الأهمية بمكان ، تفهم تأثير عنصر الوقت في عمليات المعاملة الحرارية للفلزات . فمثلا ، في عملية التلدين (التخمير) السابق وصفها ، إذا لم يراع استبقاء الشغلة فوق درجة حرارة إعادة التبلور فترة مناسبة . فلن نتاح فرصة كافية لكي تنمو بلورات الفلز تماما ، لأن تلك العملية تستغرق بعض الوقت . وفي الواقع ، تتطلب معظم التغيرات التي تنشأ داخل بنيان الفلز فترة زمنية معينة . ويلزم أيضا بعض الوقت لكي تتخلل الحرارة تماما خلال جميع أجزاء الشغلة المعدنية التي تجري معاملتها حراريا . وهذا أمر ضروري حتى يكون هناك ارتفاع كاف في درجة الحرارة في سائر القطاعات تجنباً للاختلاف في التركيب الميتالورجي المطلوب . ويجب أن ندرك أنه إذا ما أردنا وضع درجة حرارة قلب الشغلة رفعا حريما بوضعها في فرن درجة حرارته عالية ، فإن ذلك يؤدي حتماً إلى رفع درجة حرارة الشغلة عند سطحها وأركانها إلى حد التسخين المفرط الذي قد يؤدي إلى حرقها وإتلاف خواصها .

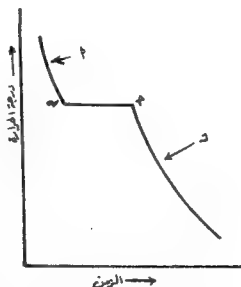
ولكل هذه الأسباب ، في أية معاملة حرارية ، يجب أن نترك الشغلة وقتا كافيا عند درجة الحرارة المطلوبة .

ولننصر الوقت أهمية أخرى في عمليات المعاملة الحرارية ، إذ أن هناك عمليات ميتالورجية أخرى تتطلب بعض الوقت لكي تتم على الوجه الأمثل ، مثل عملية الانتشار في الحالة الصلبة ، وغيرها من عمليات المعاملات الحرارية .

ومجدد بنا قبل الدخول في تفاصيل المعاملة الحرارية ، والتركيب البنائي لسبائك الألومنيوم ، أن نبدأ بالفلز في حالته النقية ، توغيا للسهولة ، لنرى كيف يؤثر عامل الوقت على التركيب البنائي للفلز .

يبين الشكل (٨٥) العلاقة بين الوقت ودرجة الحرارة للفلز النقي عندما يترك ليتجمد من حالة الانصهار (النقطة أ) .

بانخفاض درجة الحرارة ، تصل إلى درجة الحرارة (ب) حيث يبدأ الفلز في التجمد (درجة تجمد الألومنيوم النقي 960.8°C) . وتظل درجة حرارة المصهور التي بدأت تتكون خلاله البلورات الأولى من الفلز النقي ثابتة بعض الوقت ، إلى أن يتم تجمد المصهور كلية ، ويرجع ذلك إلى انبعاث أو اعتناق كمية من الحرارة تسمى « الحرارة الكامنة » ، وهي تعادل كمية الحرارة المفقودة نتيجة التبريد . ومن ثم يأخذ المنحنى اتجاهاً أفقياً حتى النقطة (ج) التي تتجمد عندها آخر نقطة في المصهور .

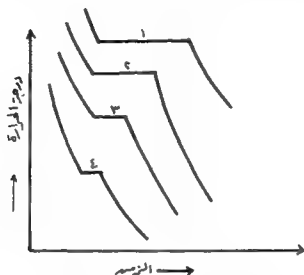


شكل (٨٥)

تجمد للفلز النقي : العلاقة بين الزمن ودرجة الحرارة

وبعد أن يتجمد المصهور كلية ، تأخذ درجة حرارته في الانخفاض تدريجياً نتيجة للتبريد . وتمثل هذه المرحلة بميل الخط البياني (د) .

ويجب ألا يغيب عن الذهن ، أن ذلك المسك هو مسك الفلز النقي فقط ، ولكل فلز
 نقي منحنى خاص به ، وله نقطة ثابتة وتختلف من فلز لآخر ، بمعنى أن الجزء الأدنى من
 المنحنى يتغير صعوداً أو هبوطاً على المحور الرأسى ، تبعاً لدرجة حرارة انصهار الفلز .
 الشكل (٨٦) .



شكل (٨٦) منحنيات التبريد للفلزات النقية :
 فلزات مختلفة ١، ٢، ٣، ٤

ولدراسة مسك الفلز عند تبريد مصهوره عندما لا يكون نقياً ، أى عندما يكون متساكباً
 مع غيره من العناصر مكوناً سبيكة ، فإننا سنختار هنا أبسط أنواع السبائك ، وهى السبيكة
 التى تحتوى على عنصرين فقط ، مكونة مجموعة ثنائية .
 سبق أن ذكرنا أن الألومنيوم يتساكب مع غيره من العناصر ، فهو يتزاوب مع النحاس ،
 والمغنسيوم ، والسليكون ، وغيرها . ولتيسير ، تأخذ المجموعة الثنائية (ألومنيوم - نحاس)
 كثال للسبيكة البسيطة . يصهر الألومنيوم مع النحاس نجد أنهما يكونان مصهوراً متجانساً تام
 التزاوب ، ويترك هذا المصهور ليبرد نجد أنه يسلك مسلكاً مختلفاً تماماً عن مسك الفلز
 النقي ، ويرجع ذلك إلى وجود « نطاق للتجمد » بدلا من « نقطة التجمد » ، حيث تبدأ
 السبيكة فى التجمد عند درجة حرارة معينة وتستمر فى التجمد ، بينما تأخذ درجة الحرارة فى
 الانخفاض أيضا حتى قبل تجمد المصهور نهائياً ، ويبين هذا الجزء من المنحنى بالجزء المنقط « و » ،
 ويستمر المنحنى إلى النقطة « د » .

التجمد التبايني :

إذا رجعنا إلى منحنى التبريد في الشكل الأسبق لفلزيين الألومنيوم والنحاس ، نجد أنه ما إن تبدأ السبيكة في التجمد ، حتى تنشأ بلورات تتكون كلية من الألومنيوم النقي . وباستمرار التبريد درجة الحرارة ، تبدأ في الظهور بلورات ينسب محسوسة من النحاس . وباستمرار التبريد تتكون بلورات تحتوي على نسب متزايدة من النحاس . فتمتد النقطة ه ، تتجمد جسيات سبيكية قد يكون تكوينها الكيميائي ٩٩,٩٪ من الألومنيوم ، ٠,١٪ من النحاس . ولكن تحت النقطة ه مباشرة قد يكون التركيب الكيميائي للجسيمات التي تتجمد خلال المصهور ٩٩٪ من الألومنيوم ، ١٪ من النحاس ، وبالمثل فإن جسيمات تحتوي على ٩٨٪ من الألومنيوم ، ٢٪ من النحاس سوف تتجمد عند درجة حرارة أقل .

وهكذا فإنه بانخفاض درجة الحرارة ، فإن البلورات التي تتكون خلال المصهور عند أية لحظة تكون مسربة لسبيكة الألومنيوم والنحاس التي تتجمد عند تلك الدرجة من الحرارة بعينها .

وبعبور المنحنى الجزء و ، تحتوي جسيات السبيكة التي تتجمد خلال المصهور على نسبة متزايدة باستمرار من النحاس . وعندئذ تتكون البلورات الأخيرة من المصهور ، بذلك يكون كل المصهور قد تجمد نهائياً ، وتنخفض درجة الحرارة خلال منحنى مماثل للسابق . وعندما يحتوي المعدن المنصهر على أكثر من عنصرين ، فإن هذا المنحنى يتغير كثيراً ، وتصبح عملية التجمد نفسها أكثر تعقيداً .

ومن الواضح أنه بالنسبة لسبيكة ألومنيوم فعلية ، وهي تحتوي عادة على عناصر مختلفة يتراوح عددها بين ستة وعشر عناصر ، فإن مسلك هذه السبيكة سوف يكون بعيداً كل البعد عن البساطة ، خاصة وأن كثيراً من العناصر المختلفة في السبيكة ستكون بدورها مغاليط مختلفة ، أو مركبات تباين في سلوكها ، مما يؤدي إلى تعقيد الموقف .

الترسيب :

الترسيب هو أحد التعمليات التي تنتج من جراء وجود العديد من العناصر المختلفة في سبيكة الألومنيوم ، حيث تؤدي عدة عناصر إلى تكوين مغاليط أو مركبات تتجمد أو تنفصل عن المصهور على هيئة دقائق صغيرة مستقلة قبل - أو حتى بعد - تجمد معظم المواد الأخرى .

هذه الجسيمات قد تكون من الصغر بحيث يمكنها أن تترسب وتكن بين الأسطح الفاصلة للبلورات المتجاورة . ويكون ترسبها بكيفية تعمل على « تثبيت » البلورات ، عن طريق إعاقتها عن الانزلاق بعضها على بعض . ومن ثم تزداد مقاومة السبيكة لتشغيل الميكانيكي ،

وهذا بدوره قد يكسب السبيكة صلادة وقصافة ، كما يفقدنا في الوقت نفسه بعضا من الخواص الميكانيكية الأخرى كالمطيلية . وعلى حسب الظروف ، فقد تكون النتيجة مطلوبة أو غير مرغوب فيها .

وعندما يصبح انزلاق البلورات بعضها على بعض صعبا ، فإن القفز يبدو وكأن لديه عددا أقل من مستويات الانزلاق . ومن ثم يصبح صلدا يقاوم التشغيل الميكانيكي . كما يصبح أكثر متانة . لذلك فقد تكون النتيجة النهائية ، تحسن الخواص الميكانيكية للفلز كثيرا . وكما سنرى فيما بعد ، فإن هذا هو الغرض من المعاملات الحرارية المختلفة .

ويجب أن يوضع في الاعتبار أنه إلى جانب ترسب الجسيمات الصلبة (الجامدة) من المصهور يحدث أيضا ترسب للجسيمات الصلبة من أوساط جامدة . فكما يستطيع فلز جامد أن ينتشر خلال فلز جامد آخر (أنظر : التنجيس) ، فإنه يمكن للمتنصر الجامد أن يترسب من وسط جامد .

الإفترسية :

عندما يسمح لسبائك الألمنيوم المنصهرة بالتبريد ، يبدى صها في قوالب ، حتى تتجمد إلى كتل (مصبوبات) ، فإنه من الطبيعي أن تبرد أسطح الكتلة الملاصقة للقالب بسرعة أكبر من باق الكتلة . لذلك فإن البلورات الأولى تتكون على أسطح الكتلة التي تلامس جدران القالب . وباستمرار انخفاض درجة الحرارة وتكون البلورات تباعا ، تنشأ البلورات الجديدة على البلورات الأولى ، مكونة حبيبات تنمو في اتجاه مركز الكتلة ، وهوordia على جدران القالب .

وفي الوقت الذي تنمو فيه الحبيبات إلى الداخل نتيجة لفقد الحرارة خلال جدران القالب ، يظل قلب الكتلة منصهرا لارتفاع درجة حرارته .

وكما رأينا في البند السابق ، فإن بعض مكونات المعدن المنصهر ترسب أو تنفصل عن المصهور ، كلما انخفضت درجة الحرارة. وفي حالتنا هذه ، فإنه نتيجة لعدم تساوي درجات الحرارة خلال كل أرجاء الكتلة ، يحدث الترسيب بطريقة غير متساوية . وهذا يؤدي بدوره إلى عدم انتظام توزيع المترسب (المواد المنفصلة) .

ولما كان لهذه الرواسب (المترسبات) تأثير خاص - مرغوب فيه - على خواص الفلز ، فن الضروري أن يكون توزيعها متظا خلال كل الفلز المتجمد . ويتم ذلك ميكانيكيا بالتشغيل ، أو بما يعرف في المصطلحات الحرارية باسم « التنجيس » .

التنجيس :

بالرجوع إلى منحنى تجمد سبيكة الألمنيوم والنحاس ، نجد أن البلورات التي كانت سابقة إلى الترسب في أول الأمر ، كانت مكونة من الألمنيوم النقي ، تلتها بلورات ترسبت

محموعة هل نحاس ينسب تزايد بانخفاض درجة الحرارة . ومن ثم فإن الحبيبات البلورية المتكونة تحصى على تركيب بنياني ، يختلف تركيبه الكيميائي من القلب إلى الخارج ، وهذا التركيب البنياني غير مرغوب فيه ، لتباين خواصه من الداخل إلى الخارج . وعليه ، فن اللازم تغير هذا التركيب البنياني إلى تركيب بنياني آخر ، يؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية للسيكة .

ولكى يتم ذلك ، فإننا نلجأ إلى ظاهرة « الانتشار في الوسط الجامد » وهو مصطلح يطلق للدلالة على انتشار أو ذوبان فلز في آخر كإلحاقها في الحالة الصلبة . ولكي ينتشر النحاس في سبيكة الألومنيوم بمعدل أكبر ، يجرى تحفيز ذرات النحاس ، برفع درجة حرارة السبيكة إلى ما دون درجة حرارة الانصهار بقليل ، ثم تتبع بعملية تبريد بطيء ، وهذه العملية تسمى « التجنيس » .

وتتراوح درجة الحرارة المناسبة لمعظم سبائك الألومنيوم بين ٤٨٠ - ٤٤٠°م . وبهذه الوسيلة يمكن التغلب على ما تبديه بعض المكونات من نزعة للانفصال أو إحداث انزلاية في بنيتها على هيئة مساحات رقيقة وكثيفة في الوقت نفسه .

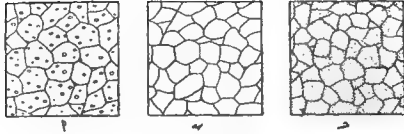
إذن فالتجنيس عملية تساعد على إحداث توزيع منتظم للعناصر السبكية وغيرها من المكونات الأخرى ، ومن ثم تساعد في الحصول على تركيب بنياني متجانس مطلوب .

تقوية سبائك الألومنيوم بواسطة المعاملة الحرارية :

يمكن تقوية سبائك* الألومنيوم بترسيب بعض مكوناتها داخل الحبيبات البلورية خلال الحفود الفاصلة فيما بين البلورات ، أو في مستويات الانزلاق بين البلورات ، بكيفية تعمل على إعاقته وعرقلة الانزلاق ، ومن ثم تصبح السبيكة أصلد وأقوى من ذي قبل . وبين الشكل (٨٧) رسماً توضيحياً لخطوات ترسيب المكونات خلال الحفود الفاصلة بين البلورات أثناء معاملتها حرارياً بهدف تقويتها .

ويمكن أيضاً زيادة المقاومة للانزلاق ، بالتحكم في الأصناف المترسبة بين البلورات ، بحيث تبدو معه كمبيبات خشة جدا . ومن الواضح أن المادة التي تعمل على مساعدة الحركة الحرة للبلورة بالنسبة لتغيرها من البلورات ، سوف تنتج عنها سبيكة طرية وضعيفة ، بينما المادة التي تمرقل الحركة الحرة للبلورات ، تؤدي إلى أن تكون السبيكة أصلد وأقوى .

(*) قد يستخدم المصطلح التقسية أو التصليد بديلاً من « التقوية » ولكنها جميعاً في النهاية تؤدي إلى نفس المعنى ، وهو الحصول على سبيكة قوية ومتينة بواسطة المعاملة الحرارية .



شكل (٨٧)

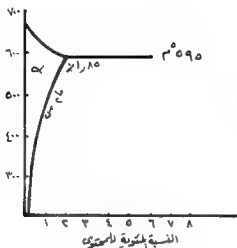
رسم توضيحي يبين التغير في التركيب البنائي لإحدى سبائك الألومنيوم التي جرى تقويتها بالمعاملة الحرارية

ومن البديهي أن تحوى السبائك التي تستجيب للمعاملة الحرارية ، أى تكتسب متانة ملحوظة بمعالمتها حرارياً ، عل أصناف (أطوار) تتسم بذاتية كبيرة مع الألومنيوم في حالة الصلابة عند درجات الحرارة المرتفعة ، بينما تقل هذه الذاتية تبعاً بانخفاض درجة الحرارة ، حتى تكاد تنعدم أو تبغى عديمة التذبذب عند درجة حرارة الغرفة . وفى الرسم البيانى لمنحنيات الاتزان ، يرمز إلى هذه الأصناف بالرمز cc فإذا ما خلا منحني الاتزان من مثل هذه الأصناف ، انعمت استجابة السبيكة للمعاملة الحرارية .

ويمكن الاسترشاد بالأشكال (٨٨ أ ، ب ، ج ، د) حتى يمكن تفهم العملية بسهولة .

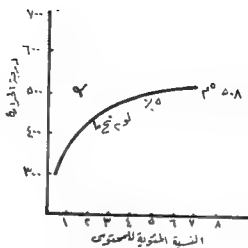
وتبين الجداول بالملاحق رقم (٥) تفاصيل الوقت المنطى ودرجة الحرارة اللازمين للتحكم وضبط كلا العاملين السابقين . وبالطبع تحتاج السبائك المختلفة للألومنيوم ، إلى معاملات حرارية ذات اختلافات طفيفة فيما بينها ، نتيجة للتأثيرات التراكمية للعناصر السبكية المختلفة والمتعددة .

لندرس الآن منحني التوازن المجموعة الثنائية (ألومنيوم - نحاس) لنفهم أهمية درجات الحرارة هذه ، وضرورة ظاهرة التصليد (أو الإصلاذ) بالعتيق لإزمانيا ، سواء كانت طبيعية أو اصطناعية ، للحصول على المتانة المثل لسبائك الألومنيوم .



شكل (٨٨ ب)

رسم بياني لتوازن سبيكة الألومنيوم - نحاس - ماغنسيوم والتي تعطى زيادة كبيرة في الخانة بعد تصلبها وتعتيقها

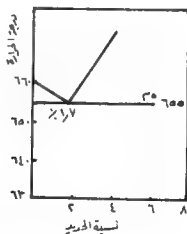


شكل (٨٨ ا)

رسم بياني يبين توازن سبيكة الألومنيوم - الماغنسيوم - السليكون والتي تعطى زيادة كبيرة في الخانة بعد تصلبها وتعتيقها

شكل (٨٨ ج)

رسم بياني يبين منحنى التوازن لتفاوت الحديد والألومنيوم (لا تعطى هذه السبيكة زيادة في الخانة بعد تصلبها وتعتيقها) .



درجة الحرارة 700°C . عند هذه الدرجة ، تتحول السبيكة كلية إلى مصهور يتفأفأ خلاله النحاس نفاوياً تاماً في الألومنيوم .

يترك هذا المصهور ليبرد ، إلى أن يصل إلى درجة الحرارة 640°C التي تمثلها النقطة (٢) الواقعة على المنحنى أ . ويمثل هذا المنحنى درجة الحرارة التي يبدأ عندها المعدن المنصهر في التجمد . والبلورات الأولى التي تبدأ في التجمد تكون من الألومنيوم النقي تقريباً ، وتكون بمثابة نوى أو نقط مركزية تبدأ حولها الحبيبات البلورية في التكون ، بتجمد بلورات أخرى عليها مع استمرار التبريد .

المهلول الجامد :

لترك المصهور يبرد حتى درجة الحرارة 620°C التي تمثلها النقطة (٣) ، ثم نستطيع عند هذه الدرجة من الحرارة ، للملاحظة ما يطرأ عليه من تغيرات . منذ بدأ المصهور في التجمد عند النقطة (٢) فإن السبيكة تظل متجمدة جزئياً ومنصهرة جزئياً . ولما كان الألومنيوم قد تبلور خلال المصهور مع قليل من النحاس ، لذلك تزداد نسبة النحاس المحتوي في الجزء من السبيكة الذي ما يزال منصهراً .

ولما كانت البيانات التي نقوم بدراستها من خلال هذا الرسم البياني قد تم الحصول عليها من خلال تجارب أجريت على مجموعات متكاملة من السبائك لها تركيبات كيميائية مختلفة ، كما هو مبين على الإحداثي الأفقي (السيني) ، فن الممكن إدراك نسبة النحاس في البلورات التي تجمدت ، وكذلك نسبة النحاس في الجزء الذي لا يزال منصهراً .

تمد الخط الأفقي المنقط على يسار النقطة (٣) ليلاقى المنحنى (ب) (الذي يمثل درجة الحرارة التي عندها يتم التجمد لختلف التركيبات الكيميائية) في نقطة ، نرسم منها خطاً رأسياً يلاقى المحور الأفقي في نقطة تبين نسبة النحاس في البلورات التي تجمدت ، وتبلغ نسبة النحاس كما في الرسم حوالي 12.5% .

ولمرة نسبة النحاس في الجزء من السبيكة الذي لا يزال في حالة الانصهار ، يمد خط أفقي يمين النقطة (٣) ليقابل المنحنى (١) (الذي يحدد بداية التجمد) في نقطة ، يرسم منها خط رأسي يلاقى المحور الأفقي في نقطة تبين النسبة المطلوبة ، وهي كما في الشكل حوالي 15% .

وعند درجات الحرارة المنخفضة (بين النقطتين ٣ ، ٤) ، تزداد نسبة النحاس بالمراد في البلورات التي تتكون خلالها . وعلاوة على ذلك ، فإن جزء السبيكة الذي لا يزال منصهراً يحتوي أيضاً على نسبة أكبر من النحاس .

وهكذا ، فإنه عند أية نقطة تقع بين المنحنيين أ ، ب ، نحصل على خليط من الجسيمات الصلبة وبين المادن المنصهر . وتتكون الجسيمات الصلبة من الألومنيوم متشابكة مع كمية معينة من النحاس . وعندما يكون هناك فلز مطلوب في آخر ، كما في هذه الحالة ، توصف هذه المجموعة الثنائية (الصلبة) بأنها « محلول جامد » .

الانتشار :

في الشكل (٨٩) ، عند النقطة ٤ ، تتجمد كل السبيكة تماما . وبعد خط أنقى إلى اليمين ليقابل المنحنى ١ ، يتضح أن البلورات التي تتجمدت أخيرا تحتوي على ٢٦٪ من النحاس ، في حين أن البلورات الأولى التي تجمدت (عند النقطة ٢) تحتوي على الألومنيوم نقى . وهكذا فإنه عند النقطة (٤) تكون لدينا جسيمات يتكون مركزها من بلورات من الألومنيوم النقي تقريبا ، ويتكون سطحها الخارجي من بلورات نسبة النحاس بها ٢٦٪ . أما نسبة النحاس ككل ، أو متوسط خلال الحبيبة البلورية ككل ، فهي ٣٪ .

وبالمعبر إلى درجة حرارة مادن المنصهر (ب) ، ولكن ٥٥٠°م التي تمثلها النقطة (٥) ، ويترك السبيكة عند هذه النقطة للملاحظة ما يحدث ، نجد أنه عند أي وضع تحت النقطة (٤) تكون السبيكة جامدة ، ولكن ذلك لا يعني أن التغيرات سوف تتوقف .

لسبائك الألومنيوم - النحاس أربعة أصناف (أطوار) : صنف السيولة التامة ، وهو ما يوجد أهل المنحنى (١) ، وصنف ثان يتكون من جسيمات صلبة منتشرة في وسط منصهر ، ويقع هذا الصنف في المنطقة بين المنحنى (١) والمنحنى (ب) ، وصنف ثالث يقع تحت المنحنى (ب) وعلى يسار المنحنى (ج) حيث تكون المادة صلبة ، وصنف رابع يقع في المنطقة تحت المنحنى (ب) وإلى يمين المنحنى (ج) حيث تكون المادة صلبة ، ولكن في صورة مختلفة كما نرى فيما بعد .

لنرجع إلى الوراء قليلا ، لمشاهدة ماذا يحدث عند درجة الحرارة ٥٥٠°م التي تمثلها النقطة (٥) . عند هذه الدرجة العالية - نسبيا - من الحرارة ، توصل الظاهرة التي تعرف باسم « الانتشار » دورها ، ولكن بمعدل أسرع نسبيا . وهذا يعني أن كمية النحاس الكبيرة نسبيا والتي توجد قريبا من الحفود الحبيبية (الحفود الفاصلة بين الحبيبات) سوف تنتشر بسرعة إلى الداخل خلال كل أجزاء الحبيبة ، ولا يتبقى وقت طويل حتى تصبح كل بلورة في الحبيبة محتوية على نفس الكمية من النحاس ٣٪ (كما في هذا المثال) .

وعليه ، يمكن القول بأن النقطة (٥) هي المثل بين النقطتين (٤) ، (٦) ، حيث يتم انتشار النحاس خلال كل التركيب البينائي ، إذا ما حافظنا على درجة الحرارة هذه لفترة زمنية كافية .

وبالطبع ، فإن الانتشار يتم سريعا عند درجات الحرارة العليا ، مما يعنى فترة زمنية أقل لإتمام الانتشار .

مرة أخرى تظهر أهمية عنصر الوقت كعامل هام فى حلقات المعاملة الحرارية .

والمنحنى (ج) هو الخط الذى يبين بداية تكوين مركب يحتوى على النحاس والألومنيوم ، هو ألوميد النحاس (نح لو٢) . ويبدأ هذا المركب فى الانفصال أو الترسيب خلال المصهور عند أية درجة حرارة تحت النقطة (٦) التى تناظر ٥٤٩°م ، للسيكة موضع دراستنا التى تحتوى على ٣٪ من النحاس . وقد سبق دراسة موضوع الترسيب لحجم جامد من مادة صلبة (جامدة) .

عند النقطة (٧) ، تنفصل نسبة كبيرة من النحاس على هيئة ألوميد النحاس . والواقع أنه عند درجة الحرارة هذه (حوالى ٥٤٥°م) ، يكون حوالى ٩٩٪ من المادة على هيئة سيكة من الألومنيوم والنحاس تحتوى على ٢,٥٪ من النحاس ، أما باقى النحاس ، فيكون على هيئة جسيمات من ألوميد النحاس ترسبت من سيكة الألومنيوم والنحاس ، واتفقت مواضعها بين البلورات والحبيبات . أما الجزء المتبقى من المادة ، ويمثل ١٪ ، فيؤخذ على هيئة ألوميد النحاس ، وهو يحتوى على حوالى ٠,٥٪ من النحاس الكلى الموجود فى المادة ، حتى تظل المادة ككل محتفظة بنسبة النحاس الثابتة بها ، وهى ٣٪ ، إذ أنه لم تحدث إضافة أو إزالة أية كمية من النحاس بها .

وعند النقطة (٨) نجد أن الكثير من النحاس لا يزال مترسبا على هيئة ألوميد النحاس .

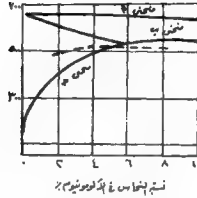
ولمحصل على المتانة القصوى لباتك الألومنيوم ، يلزم التحكم بناتية فى حجم وتوزيع الأنماط المترسبة ، إذ أنها هى التى تكسب السيكة المتانة الإضافية كما سبق شرحه .

التسقية — طرق التحكم فى المعاملة الحرارية :

يجدر بنا الآن أن نبحث عن طرق المعاملة الحرارية المناسبة لتقوية باتك الألومنيوم ، التفكير فى طرق التحكم المستخدمة للحصول على أحجام الجسيمات التى ترسب وكيفية توزيعها .

تتضمن الخطوة الأولى فى تسخين سيكة الألومنيوم المعنية ، إلى درجة حرارة خاصة بها ، وتقع فى مكان ما بين المنحنين (ب) ، (ج) على منحنى التوازن للسيكة ، الشكل (٩٠) .

والهدف من هذه الخطوة هو تلويب المكونات التى ترسبت ، حتى يمكن ترسيبها بعد ذلك بالصورة التى نريدها تماما . لذلك يجب أن تظل السيكة عند هذه الدرجة من الحرارة فترة كافية ، حتى تضمن ذوبان الراسب خلال كل أجزاء السيكة . وإبقاء السيكة عند درجة الحرارة الخاصة بها لفترة معينة كافية من الوقت يسمى « التثريب الحرارى » وهو يمثل الخطوة الثانية فى حلقات المعاملة الحرارية .



شكل (٩٠)

درجة حرارة التسخين اللازمة لإعداد السبيكة
لتصلبها

والخطوة الثالثة هي تبريد الشغلة سريعاً ، في ماء بارد . وهذه العملية تسمى « التسقية » .
والهدف من عملية الخفض المفاجئ* لدرجة الحرارة بهذه الكيفية هو منع ترسب المكونات ،
التي كان من الممكن أن ترسب ثانية لو تركت لتبرد ببطء .
ولا يتأثر التركيب البنيائي للسبيكة بعملية التسقية .

وينحصر الهدف الرئيسي لهذه الخطوات من المعاملة الحرارية في خلق النوع اللائم من
الاصناف المترسبة ، موزعة في مكانها الصحيح من التركيب البنيائي للسبيكة .

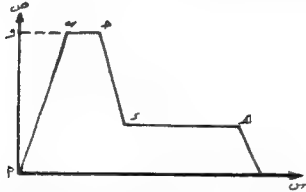
وتكون الرواسب المطلوبة في هذه العملية ، من النوع الذي لا يساعد على انزلاق البلورات
بعضها على بعض حتى يمكن الحصول على أقصى مقاومة لانزلاق البلورات . ويجب أيضاً أن
يكون توزيع هذه الرواسب منتظماً وعلى هيئة جسيمات صغيرة للغاية ، تقع فيما بين البلورات .

التصلب بالتعتيق إزمانياً :

عند تبريد المعدن تبريداً سريعاً إلى درجة حرارة الفرفة بتسقيته في وسط مناسب ،
تنشأ حالة تعرف « بالتشيع المفرط » حيث توجد في الفلز بصورة الراحة مكونات زائدة
تظل متداوبة فيه ، وتنفوق ما يمكن إذابته منها عند تلك الدرجة من الحرارة . ومن الواضح أن
مثل هذه الحالة بعيدة عن الاستقرار . وتكون النتيجة أن تبدأ هذه المكونات في الترسب خلال
سبيكة الألومنيوم .

وتحدث عملية الترسب هذه عند درجة حرارة الفرفة لحظم سبائك الألومنيوم . وهذه
الظاهرة تسمى « الإصلاح بالإزمان الطبيعي » ، وهي تحتاج إلى وقت طويل يصل إلى عدة
أيام ، بل أسابيع . ولكن ثمة سبائك أخرى تحتاج إلى تسخينها قليلاً لإتمام عملية الترسب في فترة
زمنية مقبولة ، وعندئذ تسمى « الإصلاح بالإزمان الاصطناعي » . ويبين الشكل (٩١) تأثير

درجة الحرارة ووقت الإزمان في زيادة متانة إحدى سبائك الألومنيوم . والنتيجة واحدة في كلتا الحالتين ، حيث يتم الحصول على المكونات ، وقد ترسبت بأحجام مناسبة وجرى توزيعها بانتظام ، وبذلك نحصل على أقصى متانة ممكنة للبيكة .



شكل (٩١) الإصلاص بالتعتيق لإزمانها لسبائك الألومنيوم

ص : المحور الرأسي ويمثل درجات الحرارة
س : المحور الأفقي ويمثل الزمن
ب : فترة الإبقاء عند درجة الحرارة المناظرة لمنطقة و
د : فترة الإزمان
س : التبريد في وسط مناسب

وتجب الإشارة هنا ، إلى أن سبائك الألومنيوم التي يجري تصليدها بهذه الطريقة يمكن نظريتها مرة أخرى ، لإمكانية تشغيلها بسهولة ، ويتم ذلك بتلدينها (تخميرها) .

ولكن مع ذلك ، فإن عملية التلدين (التخمير) وحدها لا تؤدي إلى الحصول على القابلية القصوى لتشغيل سبائك الألومنيوم التي تعرضت للمعاملة الحرارية ، إذ يلزم في مثل هذه الحالات ، إجراء عملية إعادة تبلور .

والهدف من خطوات عملية التلدين التي يوصى بها ، هو ترسيب الأصناف « الإطوار » على هيئة جسيمات كبيرة الحجم خارج الحبيبات وخلال الحدود وليس داخلها ، فيما بين البلورات . وهذه الطريقة تصبح الممدن « طريا » بسهولة انزلاق بلوراته خلال مستوياته الانزلاقية . ويحدث هذا التوزيع للأصناف (الأطوار) المترسبة ، بالإضافة إلى تأثير إعادة التبلور التي سبق شرحه .

كما سبق يتضح جليا أنه من الضروري اتباع الإرشادات التي تعطيها الشركات المنتجة بشأن خطوات المعالجة الحرارية لسبائك الألومنيوم بكل دقة ، حتى يمكن الحصول على الخواص المثل

لهذه السبائك . وإذا حدث لسبب أو لآخر ، أن سادت خطوات المعالجة الحرارية عن الأسلوب السليم ، تبرز صعوبات جمة كان من الممكن تلافيها .

تقسيم سبائك الألومنيوم (بالنسبة لاستجابتها للمعاملة الحرارية) :

تقسم سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل إلى قسمين رئيسيين :

١ - سبائك لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

٢ - سبائك تستجيب للمعاملة الحرارية .

أولاً : سبائك لا تستجيب للمعاملة الحرارية : تتوقف متانة هذه السبائك على مقدار ماتعرض له من تشغيل على البارد بعد آثر عملية تلدين (تخمير) . لذلك فإن الخواص التي تكتسبها مثل هذه السبائك ، تصبح إذا تعرضت لعملية تسخين لاحقة . ومن ثم فإن صفات السلع المصنوعة من هذه السبائك غير مضمونة .

ثانياً : سبائك تستجيب للمعاملة الحرارية : تحتوي هذه السبائك على عناصر أو مجموعة من العناصر أو المكونات تتذابوب بطريقة ملموسة عند درجات الحرارة العالية ، ولكن تذاوبها عند درجات الحرارة المنخفضة محدود . وتشتمل هذه السبائك على سبائك تحتوي على نسبة مرتفعة من النحاس ، وسبائك تحتوي على سيليكون المفسوم ، وسبائك تحتوي على نسبة مرتفعة من الزنك .

وتزداد متانة هذه السبائك أصلاً بمعاملتها حرارياً . وتتضمن العملية كاملة شقين :

أولهما : رفع درجة حرارتها حتى تذابوب مكوناتها ، ثم تسقيتها سريعاً في وسط بارد .

وثانيهما : الترسيب إزمانياً (الإصلاذ إزمانياً) عند درجة حرارة الغرفة أو أعلى منها قليلاً .

وهناك من سبائك الألومنيوم ما يتصلد طبيعياً بالإزمان (بتنتيقه) ، أي أن التصلب يتم بالترسيب عند درجة حرارة الغرفة . ولكن الغالبية العظمى تحتاج إلى رفع درجة حرارتها حتى درجة معينة - خاصة بكل سبيكة بعينها - ثم ترسيب الأصناف الفائقة .

السبائك المكسية :

يعرض الكثير من سبائك الألومنيوم المتوافرة في هيئة مكسية ، حيث يتم لصق طبقة من سبيكة إلى أحد سطحيها أو كليهما بسبيكة مختلفة . وبهذه الطريقة يمكن الحصول على مجموعة من الخواص المطلوبة .

المبادئ الأساسية لسبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل :

عند تبريد الألومنيوم المنصهر ، فإن درجة حرارة تنخفض حتى 908°C ، حيث تثبت - وتثبتا - لانطلاق كمية من الحرارة الكامنة تماثل الحرارة المفقودة ، ويبدأ المصهور في التجمد على هيئة تفرعية تعرف بالفنريت ، كما في الشكل (٥٥) . وبعد تجمد المصهور كلية تبدأ درجة الحرارة في الانخفاض ثانية .

ومع ذلك فإن إضافة عناصر سبكية تتزاوب مع الألومنيوم ، تغير من مسلكه في أثناء تجمده من حالة الانصهار . فيبدأ التجمد عند درجة حرارة أقل ، كما تتجمد السبيكة تجمدا تاما عند درجة حرارة أقل . وتعرف درجتا الحرارة التي يبدأ التجمد عندهما وينتهي ، بدرجتى حرارة السيولة والجمود . وهما تتوقفان على كمية ونوعية العناصر المختلفة التي تصاف إلى الألومنيوم . ويحتوى الأجزاء التي تتجمد ، في أول الأمر ، على كميات محدودة من العناصر السبكية ، تتكون على هيئة حبيبات أو دندريت . وبإخفاض درجة الحرارة ، يتوالى تجمد طبقات تحتوى على كميات متزايدة من العناصر السبكية ، ويكون تجمدها على الأجزاء الأولى . ويحتوى الجزء الذى يتجمد أخيرا على جزء كبير من العناصر السبكية التي تصاف إلى الألومنيوم . وفي المادة تكون هذه المادة صنفا تصيفا يعرف باليوتكتي ، ويتجمد بين الحبيبات .

ويؤدى وجود طبقة من مادة قسيطة بين الحبيبات السبكية ، إلى نشوء نقط ضعف في بنيتها . ولكن يمكن التغلب على هذه المشكلة بمعاملة السبيكة حراريا لتجنيس تركيبها البنياني ، أو القضاء على هذا التركيب بتشغيله ميكانيكيا . وفي المادة يجرى تشغيل المدن ميكانيكيا أول الأمر على الساخن ، حتى يكتسب أقصى لدونة ممكنة ، ويمكن بعد ذلك إحداث تشوهات لدنة على البارد أو الساخن ، بما يفي بالمطلوبة . وبعد القضاء على هذا التركيب البنياني (الذى يشبه بنيان المصبوبة) تصبح السبيكة طيعة قابلة للتشكيل .

التشوه اللدن :

يستخدم التشوه اللدن لتغير التركيب البنياني للسبيكة ، والذي يحاكي بنيان المصبوبات (المسبوكات) ، كما يستخدم لتشكيل السبائك بطرق التشكيل المعروفة ، وأيضا لتصليد وتقوية مجموعة السبائك التي لا تتسبب بالمعاملة الحرارية .

التركيب البنياني : عندما يتعرض فلز لإجهاد كاف ، تحدث انزلاقات خلال مستويات بلورية محددة . ويتوقف عدد المستويات التي يحدث خلالها الانزلاق ، على التركيب البلوري للفلز .

والألومنيوم ، شأنه كبيره من الفلزات سهلة التشغيل ، يتلوه على هيئة مكعب متزهر الوجه ، حيث يتوافر عدد من مستويات الانزلاق أكبر من أي تركيب بلوري آخر (انظر الشكل ٧) . ومثل هذه المعادن يمكن أن تتعرض لمزيد من التشغيل قبل أن تتصدع أو تنهار .

وعندما يتعرض الألومنيوم لتشوه لدن ، فإن الانزلاق يحدث خلال مستويات الانزلاق التي تكون مرتبة - في الغالب - في اتجاه القوة المطبقة . ولكن باستمرار الانزلاق ، يتغير وضع المستويات التي تعرضت للانزلاق بكيفية لا تكون مؤاتية للإجهاد الواقع عليها ، ومن ثم ينتقل الانزلاق إلى مستويات أخرى . وهكذا يتغير وضع مستويات الانزلاق تدريجياً ، إلى أن تستنفذ كلية ، وعندئذ يصبح من الصعب تشغيل الفلز أكثر من ذلك .

الطاقة المحتجزة : يعمل التشغيل على البارد على زيادة الطاقة الداخلية للمادة ، ومن ثم تصبح في حالة غير مستقرة . وتتوقف كمية الطاقة الزائدة المخزنة بالمادة ، على درجة التشغيل على البارد ، وعلى الخصائص المميزة لها .

ولتلبية للانزلاق خلال مستويات بعضها ، فإن هذه الطاقة الزائدة لا تكون موزعة بانتظام خلال كل المادة ، ولكنها تكون مركزة في بعض النقاط ، محدثة بها ارتفاعاً كبيراً في مستوى طاقتها ، ومن ثم فهذه النقاط أقل استقراراً من أجزاء الفلز الأخرى ، وتعمل كنوى عند تكوين حبيبات جديدة أثناء عملية إعادة التبلور .

التأثير على الخواص الميكانيكية : بتشغيل الألومنيوم على البارد ، تزداد كل من مقاومة الشد ، ومقاومة الخضوع ، والصلادة ، ولكن تنخفض خواصه المطيلية مثل النسبة المئوية للامتداد ، والمقاومة للصدمات ، والقابلية لتشكيل .

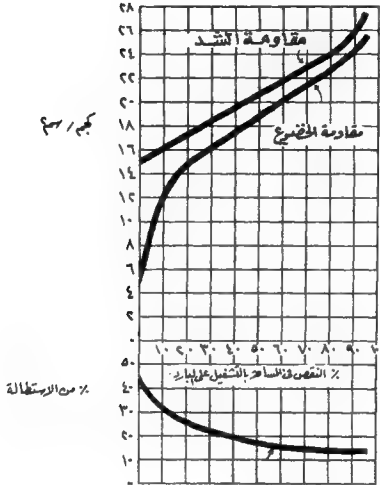
وبين الشكل (٩٢) تأثير تشغيل سبائك الألومنيوم على البارد على كل من المقاومة الشد ، ومقاومة الخضوع ، والنسبة المئوية للامتداد .

ظاهرة الاستعادة :

تحدث الاستعادة أثناء المراحل الأولى لعملية التلدين (التخمير) . وخلال هذه الفترة ، تزال بعض الإجهادات الداخلية مع استعادة جزء من المطيلية في أثناء عمليات التشغيل على البارد .

ويتوقف مدى إزالة الإجهادات الداخلية للمادة خلال فترة الاستعادة ، على كل من الوقت ودرجة الحرارة . ففي بعض السبائك ، خاصة السبيكة (١ حـ*) تلزم زيادة معدل التسخين لإنتاج حبيبات دقيقة بالسبيكة . فإذا كان معدل التسخين بطيئاً ، فإن إزالة الإجهادات من النقاط

(*) انظر الملحق الخامس .



شكل (٩٢)
تأثير التشنيل على البارد على سبائك الألومنيوم

التي تتركز بها نتيجة لتشنيل على البارد ، قد يكون كافيا لإنتاج حبيبات كبيرة الحجم عند إعادة التبلور .

وظاهرة الاستعادة أم ما يحدث خلال عملية تلدئين (تخيير) مادة تعرضت لتشنيل على الساخن (أى تعرضت للتشويه اللدن فوق درجة حرارة إعادة التبلور) . وهو صحيح أيضا لمادة التي تعرضت لمقدار من التشنيل على البارد غير كاف لإعادة تبلورها .

إعادة التبلور :

تأثير إعادة التبلور : عند تسخين مادة سبق أن تعرضت للتشغيل على البارد إلى درجة حرارة مناسبة ، فإن الحبيبات المبردة ، نتيجة لذلك التشغيل ، تقوم بدورها بتكوين حبيبات جديدة مستقرة وغير مجهدّة ، يمكنها تقليل مقدار من التشغيل على البارد .

وتستغل النقط ذات الطاقة العالية التي نشأت عن عمليات التشغيل على البارد كنوى للحبيبات الجديدة . وتكوين الحبيبات الجديدة يزيل مقدارا ملحوظا من تأثيرات التشغيل على البارد ، فتستعيد الشبكة خصائصها التي كانت تتمتع بها أصلا .

تأثير التشغيل على البارد : درجة التشغيل على البارد لها أهمية كبيرة . فإذا كانت غير كافية ، فإن إعادة التبلور لا تحدث . وإذا كانت كافية بالكاد لإعادة التبلور ، فإن المادة الناتجة سوف تحتوي على حبيبات كبيرة الحجم . ولكن وجود مقدار كاف من التشغيل على البارد ، يسهل على تشجيع تكوين حبيبات دقيقة .

القوانين التي تحكم في عملية إعادة التبلور : هناك عدة قوانين أساسية متعارف عليها تحكم في عملية إعادة التبلور للمادة ، منها :

- ١ - زيادة درجة التشغيل على البارد ، تقلل من درجة الحرارة اللازمة لإعادة التبلور .
- ٢ - زيادة الفترة الزمنية عند درجة الحرارة التي تسخن إليها المادة ، تقلل من درجة حرارة إعادة التبلور .
- ٣ - معدل التسخين إلى درجة حرارة إعادة التبلور ، وخلالها ، تؤثر على حجم الحبيبات المتكونة .
- ٤ - درجة التشغيل على البارد ودرجة الحرارة المستخدمة ، تؤثران على حجم الحبيبات المتكونة .

حجم الحبيبات المتكونة :

من المرغوب فيه عادة ، أن تكون المسادة التي تتعرض لعمليات سحب عميق ، محتوية على حبيبات دقيقة أو متوسطة الحجم . فبالرغم من أن المادة التي تحتوي على حبيبات كبيرة الحجم ، تكون لها مقدرة على تقبل التشوه اللدن ، أكبر مما للمادة التي تحتوي على حبيبات دقيقة ، إلا أنه يكون لها ميل كبير لتشوه موضعي ، مما ينتج عنه سطح غير مستعب المظهر يعرف « بقشرة البرقالة » ، تشبه الكبير بينهما . وهذا هو السبب الذي يدعو إلى تفضيل المادة ذات الحبيبات الدقيقة عند إجراء عمليات السحب العميق .

العوامل التي تؤثر على حجم الحبيبات : يتوقف الحجم النهائي للحبيبات ، بعد إعادة تبلور المادة ، على حجم الحبيبات ومعدل نموها . وهما بدورها يتأثران بعدة عوامل منها :

- ١ - الحجم الأصل للحبيبات .
- ٢ - درجة التشغيل على البارد .
- ٣ - معدل التسخين .
- ٤ - درجة الحرارة النهائية .
- ٥ - الفترة الزمنية لاستبقاء المادة عند تلك الدرجة من الحرارة .
- ٦ - التركيب الكيميائي للمادة .

تلدن (تخمير) سائك الألومنيوم :

يحتاج كثير من عمليات تصنيع سائك الألومنيوم القابلة للتشكيل إلى عملية تلدن ، بهدف إزالة تأثيرات التشوه اللدن ، أو نظرية السبيكة بعد معالجتها حرارياً وإزالتها . وتختلف هذه العملية في تفاصيلها من سبيكة لأخرى ، ولكن الهدف منها واحد ، هو الحصول على مادة تتمسك بالقابلية المثل للتشغيل .

سائك الألومنيوم التي لا تستجيب للمعاملة الحرارية :

يجرى تلدن السائك التي لا تستجيب للمعاملة الحرارية كالألومنيوم النقي (أ) ، والألومنيوم التجاري (ب) ، والسبيكة (١ -) ، والسبيكة (١٢ هـ) ، والسبيكة (١٤ -) ، لإزالة تأثير الإجهادات التي تعرضت لها أثناء تشغيلها على البارد .

ويكن لهذه السائك إبقاؤها عند درجة حرارة $340 \pm 50^\circ\text{C}$ لمدة ساعة واحدة حتى تتشرب الحرارة تماماً ، باستثناء السبيكة (١٢ -) التي يجب أن تتشرب الحرارة عند 400°C ، وذلك لارتفاع درجة حرارة إعادة تبلورها .

وليس لمعدل تبريد هذه السائك أية أهمية ، كما أن التسقية السريعة غير مطلوبة بالمرة ، تقاديا لأي إجهادات داخلية قد تنشأ . وقد وجد أن التبريد في الهواء كاف تماماً ويغني بالفرص .

سائك الألومنيوم التي تستجيب للمعاملة الحرارية :

يجرى تلدن سائك الألومنيوم التي تستجيب للمعاملة الحرارية ، لإزالة تأثيرات الإصلاص الانفعالي الذي ينتج عن التشوه اللدن ، أو لإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية .

ولإزالة الإصلاص الانفعالي نتيجة التشغيل على البارد ، يجري تشريب السبيكة حرارياً لمدة ساعة واحدة عند $330 - 350^\circ\text{C}$ يتيمه عادة تبريد في الهواء ، وهو كاف . وهذا الإجراء كفيل بإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية ، إذا لم يكن مطلوباً نظرية السبيكة بأكبر قدر ممكن .

ولإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية ، سواء كانت جزئية أو كلية ، يجرى التبريد الحرارى لمدة ساعتين عند ٤٠٠ - ٤٢٥ م ، يتبعها تبريد بمعدل لا يزيد على ١٠ م كل ساعة حتى ٢٢٥ م ، وذلك للحصول على سبيكة طرية طيبة .

كما أنه من ناحية أخرى ، فإن انتشار النحاس وغيره من العناصر السبيكية الأخرى يكون سريعاً عند درجات الحرارة العالية ، ولذلك فهو يفسد خواص السبائك المكتسبة ، حيث ينتشر خلال طبقة الكساء التى تكون عادة من الألومنيوم النقي .

وفى هذا النوع من السبائك ، لا يكون لمعدل التبريد أهمية إلا عند استخدام عمليات التلدين لتفويج مكونات السبيكة ، عندئذ يجب ضبط معدل التبريد حتى يسمح بإعادة ترسيب المكونات .

المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم كعملية تلويج لمكونات السبيكة فى محلول :

يجرى تصليد وتقوية مجموعة سبائك الألومنيوم التى تستجيب للمعاملة الحرارية ، خلال سلسلة من العمليات تشمل تسخين وتبريد المسادة فى الحالة الصلبة بصورة محكمة . والمهدف من هذه العمليات ، هو التحكم فى حجم وتوزيع الأصفاد المترسبة التى تكون قد تكونت نتيجة للعناصر السبيكية التى أضيفت إلى الألومنيوم ، والتى لها ذاتية تختلف باختلاف درجات الحرارة .

العناصر المتطاوية : يتذاب كثير من العناصر مع الألومنيوم ، وأكثر هذه العناصر أهمية من الناحية التجارية ، السيليكون ، والحديد ، والتنجاس ، والمغنسيوم ، والتيتانيوم ، والزنك ، والنيكل ، وبعض هذه العناصر لا يتذاب مع الألومنيوم إلا فى الحالة المنصهرة . وهناك عدد من العناصر له ذاتية محسوسة عند درجة الحرارة العادية (درجة حرارة الغرفة) ، فى حين توجد عدة عناصر تتذاب بشراهة فى الحالة المنصهرة ، ولكنها تكون شحيحة الذوبان فى الحالة الصلبة عند درجات الحرارة المنخفضة .

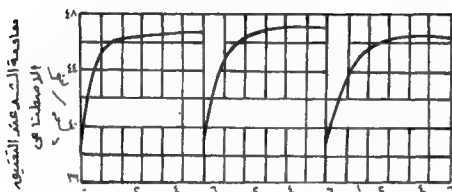
السبائك التى تستجيب للمعاملة الحرارية : تتكون مجموعة السبائك التى تستجيب للمعاملة الحرارية من عناصر أو مجموعة عناصر أو مكونات تقل ذاتيتها فى الحالة الصلبة بانخفاض درجة الحرارة . فإذا لم تبد هذه السبائك انخفاضاً فى ذاتيتها بانخفاض درجة الحرارة ، فإنها تندرج مع مجموعة السبائك التى لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

تذابب المكونات فى محلول جامد :

تجرى معاملة حرارية ، بهدف تكوين محلول من المكونات المتذابة ، وإعانة أو تأخير إعادة ترسيبها بصورة عاجلة ، وهى تسمى « المعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات » . وتتضمن خطوات : تكوين محلول من العناصر المتذابة ، ويتم ذلك برفع درجة الحرارة ، تتبعها تسقية سريعة . ومثانة السبائك التجارية التى تستجيب للمعاملة الحرارية لا يكفى الحصول

عليها بتكوين محلول من المكونات ، بل يجب أن تكون مشفوعة بعملية أخرى تالية لها ، هي ترسيب المكونات كما يفنى تحقيقها إزمانيًا . وتؤدي الخطوة الأولى فقط إلى الحصول على أقصى متانة أو صلادة .

ويمكن تغيير مقاومة الشد ، بتعريض السبيكة التي أجري تميئها لعملية استعادة بعد تقسيبها ، كما في الشكل (٩٣) .



شكل (٩٣)

تغير مقاومة الشد بالتحقيق الاصطناعي لإحدى سبائك الألومنيوم تعرضت مرتين لعملية استعادة بعد التقسية

الفرق بين التلدين (التخمير) والمعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات : تختلف عملية المعاملة الحرارية التي تجرى على سبيكة لتكوين محلول من المكونات بها ، عن عملية التلدين (التخمير) في عدة نقاط ، بالرغم من أن عمليات الاستعادة ، وإعادة التبلور ، وانحلال البور ، متشابهة في كلا المعاملتين . ولكن عملية التلدين ، تتضمن درجة حرارة تعمل على إدماج البلورات أو السماح لها بالانحلال لتكوين حبيبات كبيرة الحجم ، وليس لهذه العملية تأثير كبير في الحد من عمليات التشوه بالتشغيل . في حين نجد أن المعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات ، تعمل على تذويب المكونات السبكية في الألومنيوم .

أسس اختيار درجة الحرارة : عند تسخين سبيكة من الألومنيوم تحتوي على عدة مكونات من العناصر المتذوبة ، فإن درجة الحرارة التي تختار لمعاملة السبيكة حرارياً عندها بهدف تكوين محلول من المكونات بها ، يجب بالضرورة أن تتأني نقطة الانصهار للمكون الذي له أقل درجة

حرارة انصهار في المهيمنة . وفي هذه السبائك ، يؤدي الإفراط في التسخين ، ولو بدرجات قليلة ، إلى حدوث انصهار موضعي بمواقع معينة بالسبيكة . وإذا ما حدث ذلك، يلزم إعادة صهر السبيكة ثانية ، ثم تصنيها من جديد .

وهناك العديد من السبائك، خاصة تلك التي يتم تقويتها أساسا بالمكون مغنيسيوم (سليسيه المغنيسيوم) ، يمكن معالمتها حراريا لتكون محلولاً من مكوناتها عند درجات حرارة تزيد على اللازم دون خشية انصهارها . ومع ذلك فإن استخدام مثل هذه الدرجات من الحرارة ، قد يؤدي إلى التوائها واهوجاجها ، كما يشجع على تكوين طبقة سميكة من الأكسيد .

وبعد الحصول على محلول كيميائي يجمع شتى عناصر ومكونات السبيكة متداوية بعضها مع بعض ، يلزم إجراء عملية تدعيم لهذه الحالة ، بتسقيتها سريعاً لمنع إعادة ترسيبها على الفور . وإذا حدثت إعادة ترسيب في أثناء ذلك ، يتم الحصول على تقوية جزئية ، تتوقف على حجم وتوزيع الجسيمات المترسبة .

بالإضافة إلى ما سبق ، فإن ترسيب بعض المكونات خلال الحدود الفاصلة بين الحبيبات وخلال مستويات انزلاق معينة ، يقلل من مقاومة العديد من السبائك للتآكل الكيميائي بصورة خطيرة .

خطوات التقسية بالمعاملة الحرارية للسبائك :

تتضمن خطوات تقسية سبيكة للألومنيوم بمعالمتها حرارياً أربع خطوات :

- التسخين إلى درجة حرارة سبق تحديدها .
 - التبريد الحراري للسبيكة بإبقائها عند هذه الدرجة من الحرارة لفترة معينة من الوقت .
 - التسخين السريع عند درجات حرارة منخفضة نسبياً .
 - التعتيق بالإزيمان ، أو التصليد بالترسيب ، ويبدأ تلقائياً عند درجة حرارة الغرفة ، أو نتيجة لانخفاض درجة حرارة المعاملة الحرارية .
- ولقد سبق أن ذكرنا أنه إذا حدث التعتيق عند درجة حرارة الغرفة ، فإنه يسمى « التعتيق الطبيعي » ، في حين أن عملية التعتيق عند درجات حرارة أعلى ، توفيراً لوزن التعتيق ، تسمى « التعتيق الاصطناعي » .

التقسية : بعد الحصول على مكونات سبيكة الألومنيوم في حالة متداوية على هيئة محلول جامد ، تسمى السبيكة فوراً بإعاقلة أو تأخير الترسيب الفوري لهذه المكونات .

وهناك ثلاث طرق متميزة للتقسية ، يجري استخدامها إستناداً إلى نوع السبيكة والخواص المطلوبة .

● **التسقية في ماء بارد** : تجرى عادة تسقية الأجزاء والأدوات المنتجة بالدرفلة المسطحة ، وبطرق البثق ، والأنابيب ، والمطروقات الصغيرة ، وما شابه ذلك ، في الماء البارد . ويجب ألا تزيد درجة حرارة الماء قبل التسقية على 30°C ، كما يجب أن يكون حجم الماء كافياً ، بحيث لا يمتدى الارتفاع في درجة الحرارة الناشئ عن التسقية 10°C . ومن ثم يتم الحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة ، مع أقصى مقاومة للتآكل الكيميائي .

● **التسقية في ماء ساخن** : يمكن تسقية المطروقات الضخمة والقطاعات الثقيلة في ماء ساخن ($60^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$) أو في ماء يغلي . مثل هذا النوع من التسقية يقلل من حدوث أي تشويه في المنتج ، كما يخفف من حدة التمرض لحدوث شقوق فيه .

● **التسقية خلال تيار من الرذاذ** : يجري تطبيق هذا النوع من التسقية على ألواح الألومنيوم المسكية والأجزاء المصنوعة منها ، وكذلك على القطاعات الثقيلة لجميع السبائك تقريباً ، حيث تمرض لتيار سريع من الماء المدفوع على هيئة رذاذ .

ولكن هذا النوع من التسقية لا يطبق على السبائك (٦ - ٨) ، حيث تتأثر مقاومتها للتآكل الكيميائي كثيراً نتيجة لذلك .

المشاكل التي تنشأ عن المعاملة الحرارية :

التسخين المفرط : ويعرف أيضاً بالإنصهار (ويشمل الانصهار البؤكي ، الانصهار الجزئي ، الانصهار خلال الحدود الفاصلة بين الحبيبات) . ويؤدي الإفراط في تسخين السبيكة إلى انخفاض مطيلتها ، وفي بعض الحالات يؤدي إلى نشوء بشور سطحية وانخفاض متانة السبيكة ، كما يشجع على حدوث شقوق في أثناء التسقية .

الأكسدة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة : تؤدي هذه الأكسدة إلى تدهور السبيكة . وهي لا تحدث عادة إلا للستجات المكشوفة التي يتم تسخينها في أفران هوائية (أفران الود) .

الشقوق نتيجة التسقية : تحدث هذه الشقوق عادة أثناء أو بعد تسقية القطاعات الثقيلة أو الشطع التي بها تدرجات حادة في مقاطعها . وتكون غالباً نتيجة إجراء التسقية بمعدل أسرع من اللازم .

التشوه والانفعال الزائدان : ويحدثان نتيجة الآتي :

(أ) وجود تباين زائد في درجات الحرارة بمختلف مساحات السبيكة في أثناء فترة التسخين ، نتيجة عدم التوزيع الحراري المنتظم في فرن التسخين .

(ب) التملق الخاطيء للشعلة أثناء فترة التسخين .

(ج) استخدام التسقية بصورة عنيفة .

(هـ) انظر الباب الخامس .

الباب الخامس

أجهزة التسخين في صناعة الألومنيوم

يتناول هذا الفصل أجهزة التسخين التي يجري استخدامها صناعياً في أفراس إجراء المعاملات الحرارية للألومنيوم وسبائكها ، وفيها ترفع درجة حرارة مشغولات الألومنيوم إلى ما دون درجة حرارة غليط السيلولة للسبائك المختلفة المولفة لها ، والتي يمكن تعديلها بمرة التركيب الكيميائي للسبيكة ، ومنحى الاثران الخاص بها .

ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلى قسمين من الأفران :

١- أفران القيد : وفيها يستخدم القيد في صورته الغازية والسائلة لتوليد كمية من الحرارة تكفي لرفع درجة حرارة جو الفرن إلى درجة الحرارة المطلوبة . وينتج احتراق القيد عن أكسدة سريعة للجزء القابل للاحتراق من مادة القيد فتتولد الحرارة . وعندما يتم غليط مادة القيد بالنسبة الصحيحة من الأكسجين الموجود بالهواء الجوي ، تتخلف عن عملية الاحتراق النواتج الآتية : ثاني أكسيد الكربون ، وبخار الماء ، بالإضافة إلى غاز التروجيلين الموجود أصلاً في الهواء . ويعتبر غاز الأكسجين في الغازات العادمة ، دليلاً على دفع الهواء بكمية أكبر مما يلزم نظرياً (هواء زائد) ، كما يعتبر وجود غاز أول أكسيد الكربون في الغازات العادمة ، مؤشراً على زيادة كمية القيد عن كمية الهواء المناظرة لها .

٢- أفران كهربائية : وفيها تستغل الطاقة الكهربائية أساساً للحصول على كمية الحرارة المطلوبة لأغراض التسخين . وتتميز هذه الأفران الكهربائية بنظافة استخدامها ، ودقة التحكم في كمية الحرارة المتولدة ، مما يؤدي بالتالي إلى الحصول على نتائج باهرة يمكن التعميل عليها .

وفيما يلي سنتناول أفران التسخين الكهربائية بشيء من التفصيل ، لتتبعها وأهميتها الكبيرة في عمليات المعاملة الحرارية لمنتجات الألومنيوم وسبائكها .

أفران التسخين الكهربائية :

يمكن تقسيم أفران التسخين الكهربائية تبعاً للوسط الذي يتم خلاله تسخين المادة أو تبعاً لتصميم غرفة التسخين ، حيث الترتيبات الكهربائية ، وطريقة تحريك الشغلة خلال الفرن .

وفي الصناعات المعدنية - كما هي الحال في صناعة الألومنيوم - يكون وسط التسخين عادة غازاً أو مصهوراً لأحد الألاح ، ويتم تسخين الوسط ، خلال وحدات تسخين ترتفع درجة حرارتها نتيجة

لحقايتها لمرىان اللىار الكهربائى . وىجرى تسخين الملى المنصهر بوساطة إلكترود أو أكثر فىمر فىه .

أولا : أفران للتسخين بالمقاومة الكهربية : يتكون فرن المقاومة أساسا من غرفة تسخين تشمل عدة عناصر للتسخين بالمقاومة ، قد تقام على جدران الفرن ، أو فى سقفه ، أو على أرضيته ، أو ببابه ، استنادا إلى نوع التبلين ، ووسائل التحكم فى درجة الحرارة ، وأسلوب تطبيق قطع المشغولات داخل الفرن .

وتنتقل الحرارة إلى الشغلة بطرق الإشعاع والحمل ، وكلما كانت درجة الحرارة عالية ، كلما زادت كمية الحرارة المشعة .

وتستخدم أفران التسخين بالمقاومة فى أغراض التخمير والتصليد ، ولتليد المنتجات المصنوعة من مسحوق الألومنيوم وسبائكته .

وتصنع وحدات التسخين المستخفمة فى أفران التسخين بالمقاومة من شرائط معدنية ، أو قضبان فلزية كسبائك الفولاذ مع النيكل والكروم ، كما تصنع من مواد لافلزبة مثل كربيد السليكون ، الذى يصنع عادة على هيئة قضبان مستديرة المقطع .

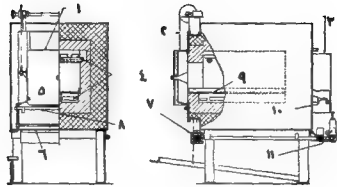
ولتصميم عناصر التسخين المعدنية أهمية كبيرة ، ولذلك فهو يتضمن كيفية تحميلها ، ووضعها والمسافات الفاصلة بينها ، وسلك المادة التى تستخدم فى صنع هذه العناصر ، وكمية الحرارة المبذولة لوحدة المساحات .

ويتحدد عمر عناصر التسخين إلى حد بعيد ، بالسلك ، وبأقصى درجة حرارة تصل إليها .

أنواع الأفران : توجد عدة أنواع تغطية من الأفران ، تتوقف الاختلافات جذريا على متطلبات شحن المشغولات المعدنية فى الفرن وتفريفها .

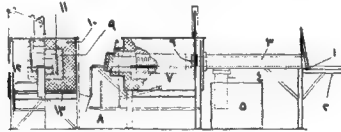
ويتوقف اختيار سعة ونوع الفرن لتطبيق معين ، بصفة مباشرة على عمليات التسخين المطلوبة ، وسعدل الإنتاج المتوقع . ومن أشهر هذه الأفران الطرز الآتية :

١ - فرن ذو صندوق : (الشكلان ٩٤ ، ٩٥) ويشتمل هذا الطرز من الأفران على غرفة تسخين على هيئة صندوق ، له باب واحد أو بابان متقابلان كما يشتمل على حجرة تعلق فيها المشغولات المطلوب تسخينها . وقد يزود هذا الطراز من الأفران بغرفة تبريد ، كما قد تلتحق به مروحة تساعد على التسخين بالحمل القسرى للهواء الساخن . وىجرى شحن وتفرغ القطع التى يراد معالمتها يدويا ، وقد تشحن كل قطعة على حدة ، أو تشحن كلها دفعة واحدة فى وعاء مناسب .



شكل (٩٤) فرن ذو صندوق

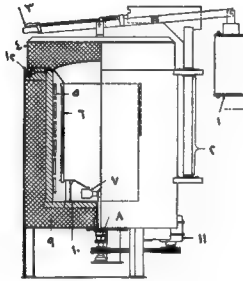
- ١ - باب معزول حراريا ويصنع من الحديد المصبوب
- ٢ - سلسلة ذات دلفينات
- ٣ - حاجز وقاية طرف
- ٤ - عناصر التسخين
- ٥ - إضاءة
- ٦ - غلاف فولاذي لمنع تسرب الغاز
- ٧ - ثقل موازن لضبط الباب
- ٨ - ستارة المشعل
- ٩ - قاعدة الحجارة
- ١٠ - مانعات تسرب الغاز من خلال عناصر التسخين
- ١١ - جهاز خلط الهواء مع الغاز



شكل (٩٥) فرن ذو صندوق وتلحق به غرفة تبريد

- ١ - ستارة المشعل
- ٢ - غرفة التبريد
- ٣ - نفث التبريد
- ٤ - مسقط لتسقية
- ٥ - حوض التسقية
- ٦ - الباب المركزي
- ٧ - عناصر التسخين الأرضية
- ٨ - نفث الشخص
- ٩ - حراريات عازلة
- ١٠ - مواد عازلة للحرارة
- ١١ - عناصر تسخين
- ١٢ - دقار لمنع تسرب الغاز

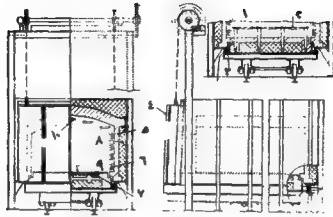
٢ - فرن ذو جب : (الشكل ٩٦) قد يكون هذا النوع من الأفران على شكل أسطواني ، أو على شكل متوازي مستطيلات ، وله فتحة بأعلى ، وله غطاء مزول حراريا . وقد تجهز مجرة الفرن بمروحة عند قته أو بألفه عند القاع ، تعمل على مرعة التسخين بتيارات الحمل القسرية . وتعمل المشغولات التي يراد معادتها حراريا على عازلة عند القاع ، أو قد تعلق من سقف الفرن .



شكل (٩٦) فرن ذو جب

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| ١ - ثقل موازن الغطاء | ٢ - محامل صامدة للإحتكاك |
| ٣ - ذراع تشغيل الغطاء | ٤ - غطاء |
| ٥ - عناصر التسخين | ٦ - عازلة |
| ٧ - مروحة | ٨ - محمل ومبيت المحمل |
| ٩ - عازل | ١٠ - طوب حراري عازل |
| ١١ - مولد | ١٢ - مانع التسرب |

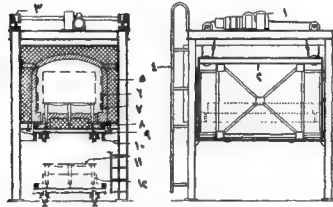
٣ - فرن ذو عربة : (الشكل ٩٧) يتألف الفرن ذو العربة أساسا من صندوق فحم ، وترتفع مجمرته على عجلات تمكنها من الحركة لشن وتفرغ المشغولات التي يراد تسخينها .



شكل (٩٧) فرن ذو عربة

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| ١ - عناصر التسخين | ٢ - بجمرة |
| ٣ - مانع التسرب | ٤ - باب |
| ٥ - حراريات عازلة | ٦ - عناصر تسخين معلقة بالحائط |
| ٧ - عربة عناصر التسخين | ٨ - مادة عازلة |
| ٩ - ألواح المجرورة | ١٠ - عناصر التسخين الملوقة |

٤ - فرن رافع : (الشكل ٩٨) يصمم الفرن الرافع عادة على شكل متوازي مستطيلات ،



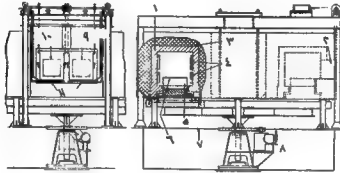
شكل (٩٨) فرن رافع

- | | | | |
|----------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| ١ - ونش رافع | ٢ - رافع | ٣ - أسطوانة ونش الرفع | ٤ - سلم |
| ٥ - مادة عازلة | ٦ - عناصر التسخين | ٧ - حراريات عازلة | ٨ - مانع التسرب |
| ٩ - عربة | ١٠ - رافع | ١١ - منصة الشحن | ١٢ - دعائم تقوية |

وفى بعض الأحيان ، يصمم على هيئة أسطوانة . وقد يزود بمروحة أو مجموعة من المراوح التى تساعد على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرى . وتعمل المشغولات على حربة ، حيث ترفع إلى داخل غرفة التسخين ، وفى نفس الوقت تنزل حربة أخرى بمشغولات جرى تسخينها .

ويزود الفرن بمحوس أسفله يحوى كمية من الماء ، لأغراض التسخين السريعة لمشغولات الألومنيوم الساخنة .

٥ - فرن ذو مجمرة دوارة : (الشكل ٩٩) تصمم مجمرة هذا الفرن على شكل حلقة كبيرة ، وتتكون من الدوران حول محورها داخل غرفة التسخين . وقد يزود الفرن بمروحة تساعد على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرى .



شكل (٩٩) فرن ذو مجمرة دوارة

- | | |
|-------------------|-------------------|
| ١ - باب | ١ - حراريات عازلة |
| ٢ - عناصر التسخين | ٣ - مادة عازلة |
| ٣ - مجمرة دوارة | ٤ - دعامة المجمرة |
| ٤ - آلية إدارة | ٥ - خط الأرضية |
| ٥ - بوابة الشحن | ٦ - بوابة التفريغ |
| | ٧ - خطاء الشعلة |

٦ - فرن ذو مجمرة دحرجية : (الشكل ١٠٠) نوع من الأفران المستمرة ذات الناقل ويتألف ناقله من حصيرة من دلفينات دحرجية متجاورة ، تصنع من سبيكة تصمد أمام درجات الحرارة العالية . ولتسخين المشغولات ، فإنه يجرى شحنها مباشرة على الحصيرة التى تتألف من الدلفينات الدحرجية . ويناسب هذا الفرن المشغولات التى تكون على هيئة مواشير وقضبان ، وغيرها من المشغولات الكبيرة الحجم نسبيا .

ويتم شحن الفرن وتفريغه ، ونقل المشغولات بسرعة من قسم إلى آخر خلال الفرن أوتوماتيكيا وقد يزود الفرن بفرط تبريد ، وحوض للتسقية ، كما قد يزود بمروسة أو أكثر لتيسير عملية التسخين بواسطة تيارات الحمل القسرية .

ويتفوق هذا النوع من الأفران عل غيره من الأنواع الأخرى ببساطة تصميمه ، وقلة نفقات صيانه ، وانخفاض تكاليف تشغيله .



شكل (١٠٠) فرن ذو مجموعة دحرجية

- ١ - غطاء العادم
- ٢ - غرفة تبريد
- ٣ - آلية إدراة التطريع
- ٤ - غرفة تسخين
- ٥ - بوابة الدحول
- ٦ - غطاء العادم
- ٧ - نفاذ الشحن

ثانياً : أفران التسخين بواسطة مصهور لأحد الأملاح :

يتم انتقال الحرارة - خلال مصهور لأحد الأملاح - بحيث تلامس نقطة انصهاره درجة الحرارة التي يراد الوصول إليها - من مصدر التسخين إلى قطع المشغولات بواسطة تيارات الحمل أساساً . ولما كانت تيارات الحمل سريعة ، والصفة الحرارية لمصهور الملح كبيرة ، لذلك فإن معدل تسخين المشغولات يكون محدوداً من الناحية العملية كما أن طبقة رقيقة منه سوف تتجمد تواءً مغلفة كل سطح المشغولة . ولكنها سرعان ما تنصهر مرة أخرى ، إذ أن درجة حرارة مصهور الملح تكون أعلى كثيراً من نقطة انصهاره .

وتمتاز أفران التسخين بمصهور الملح عن أفران التسخين بالمقاومة الكهربائية ، بسرعة التسخين ، خاصة عند درجات الحرارة العالية التي تتم عندها عناصر المعاملة الحرارية ، إذ تكون معدلات التسخين في مصهور الملح أربعة أمثال معدلات التسخين في أفران المقاومة في وسط غازي .

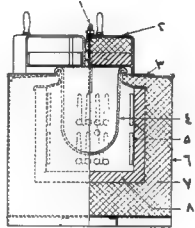
ومن أشعة أفران التسخين بواسطة مصهور لأحد الأملاح :

١ - فرن عناصر تسخين خارجية : (الشكل ١٠١) تقام عناصر التسخين بالمقاومة على جدران هذا النوع من الأفران ، حيث تشع الحرارة إلى الجدار الخارجى لوعاء التسخين .
ويجب أن يصنع وعاء التسخين من سبيكة تصمد أمام درجات الحرارة العالية ، حتى يقوم بتوصيل الحرارة من عناصر التسخين إلى مصهور الملح بكفاءة .

شكل (١٠١)

فرن عناصر تسخين خارجية :

- ١ - مزدوجة حرارة
- ٢ - غطاء من الحديد المصبوب
- ٣ - دعامة للغطاء من الحديد المصبوب
- ٤ - وعاء من سبيكة خاصة
- ٥ - عناصر التسخين
- ٦ - غلاف فولاذى
- ٧ - مادة عازلة
- ٨ - حراريات عازلة



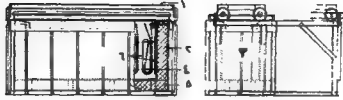
٢ - فرن عناصر تسخين مغمورة : (الشكلان ١٠٢ ، ١٠٣)

يجرى تسخين هذا النوع من الأفران بواسطة مسخنات مغمورة ، تتألف من أسلاك مقاومة مغمورة في حراريات عازلة ، وتكسوها كلها طبقة معدنية . وتتدرج الحرارة بين قيمتها القصوى والدنيا من عناصر التسخين ، إلى الطبقة المعدنية .

وتستخدم عناصر التسخين المغمورة لرفع درجة حرارة مصهور الملح حتى درجة حرارة ٥٥٧.٠°C ، وتصنع أوعية احتواء المشغولات التي يراد تسخينها عادة من الفولاذ ، وتوضع مادة عازلة مناسبة بين جدران الوعاء والجدار الخارجى .

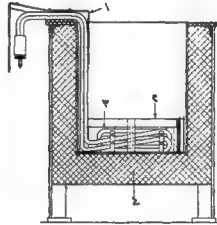
٣ - فرن بالكثريد مغمور :

يحتج هذا الطراز من أفران التسخين بواسطة مصهور ملحي ، أقدم الأفران الكهربائية استخداماً في أغراض المعالجة الحرارية ، حيث ظهر إلى حيز التطبيق في حوالى عام ١٩٠٦ . وبالرغم من أن جميع الأملاح عوامل عازلة جيدة للكهرباء في الحالة الصلبة ، إلا أنها تصبح جيدة التوصيل للكهرباء عندما تكون في حالة الانصهار . ولذلك تستغل هذه الخاصية الكهربائية



شكل (١٠٢) فرن بعناصر تسخين مغمورة

- | | |
|------------------------|------------------------|
| ١ - غطاء معزول حرارياً | ٢ - غلاف فولاذي |
| ٣ - حقل الحوض | ٤ - حوض التسخين |
| ٥ - طبقة عازلة حرارياً | ٦ - عناصر تسخين مغمورة |



شكل (١٠٣) فرن بعناصر تسخين مغمورة

- | |
|------------------------|
| ١ - عارضة الطاقة |
| ٢ - حاجز ذو لفصان |
| ٣ - عناصر تسخين مغمورة |
| ٤ - طبقة عازلة |

عند تشغيل الفرن ذي الإلكترود المغمور . وعند التشغيل تنخفض فلتية التيار الكهربائي العادي الذي يبلغ ٢٢٠ - ٢٤٠ فلت إلى ٥ - ٢٥ فلت خلال محول كهربائي يقام إلى جدار الفرن ، ثم يسقط هذا التيار الكهربائي على الإلكترودات المغمورة في مصهور الملح ، فينتج تيار كهربائي متردد بأثيرية عالية خلال الإلكتروليت المالح ، حيث ترتفع درجة حرارته نتيجة لمقاومة تدفق التيار الكهربائي خلاله .

ومن الواضح أن مصهور الملح لا يتعرض كيميائياً نتيجة لتردد التيار الكهربائي ، ولذلك فلا يمكن استخدام التيار الكهربائي المستمر في هذه الحالة ، إذ سرعان ما يتصلب مصهور الملح إلى عناصره .

ومن الممكن استخدام مثل هذا الطراز من أفران التسخين لينطى نطاقاً عريضاً من درجات الحرارة يمتد من ١٥٠ - ١٢٠٠°م استناداً إلى نوع الملح المستخدم ، ولذلك فهو مفيد لكثير من التطبيقات التي تشمل كثيراً من المعاملات الحرارية للعديد من الفلزات والسبائك المختلفة .

وللإلكتروودات المنصودة ثلاثة تصميمات مختلفة هي :

(أ) إلكتروودات معلقة ومتباعدة عن بعضها بعضاً ، شكل (١٠٣)

(ب) إلكتروودات مضمورة ، شكل (١٠٤)

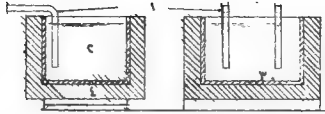
(ج) إلكتروودات معلقة ومتجاورة ، شكل (١٠٥)

* وفي أقدم أنواع الأفران خوات الإلكتروودات المضمورة ، كانت الإلكتروودات توضع على الجوانب المتقابلة في الحوض الذي يحوى مصهور الملح ، بحيث تكون معلقة من السقف وكان الحوض يصنع من مواد حرارية . وعند تدفق التيار الكهربائي ، من إلكترود إلى آخر ، فإنه يتعمق مرورهم خلال الشحنة المعدنية (مشغولات الألومنيوم) ، مما ينفشاً عنه متاعب جسيمة . ولما كانت الشحنة المعدنية أجود توصيلاً للكهرباء عن مصهور الملح ، فإنه نتيجة لذلك ترتفع كثافة التيار الكهربائي بطريقة غير عادية في المساحة التي يدخل منها التيار ويفادر فيها قطع المشغولات ، مما ينتج عنه تسخين مفرط ، قد يؤدي إلى انصهار جزئى ، بينما تظل درجة الحرارة لمصهور الملح نفسه ثابتة دون تغير .

وقد أمكن التغلب على العيب في تصميم الفرن ذي الإلكتروودات المضمورة ، حيث جرى صنع الوعاء الذي يحتوى على المشغولات من الفلز جيد التوصيل للكهرباء ، كما جرى رص الإلكتروودات على طول جدار واحد فقط من جدرانها (كما في الشكل ١٠٤) وبذلك يسرى التيار الكهربائي من الإلكتروود إلى جدار الوعاء ، ثم خلال الوعاء ، ثم يمر الفجوة المتلفة بمصهور الملح إلى الإلكتروود الآخر ، فتتفادى سرعته عبر شحنة المشغولات .

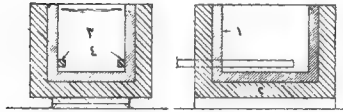
وفي تصميم الفرن ذي الإلكتروودات المعلقة متجاورة لبعضها بعضاً ، يستخدم وعاء مصنوع من مواد حرارية ، وتوضع الإلكتروودات خلال جدار الوعاء أو قرب قاع المصهور كما في الشكل (١٠٥) . وإذا كان عمق مصهور الملح في الحوض ضحلاً ، اقتصر تدفق التيار الكهربائي خلال المساحة الواقعة بين الإلكتروودين .

ولما كانت كل الحرارة المتولدة تنشأ عند قاع الحوض ، فإن تيارات دوامية من تيارات الحمل الحرارى تنشأ خلال مصهور الملح نتيجة للتباين بين درجتي الحرارة أسفل وأعلى الحوض ، حيث تكون كثافتها المصهور مختلفتين .



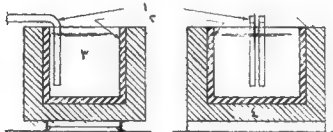
شكل (١٠٤) نموذج آخر لفرن بتناصير تسخين مغمورة

- | | |
|----------------|------------------------|
| ١ - إلكترودات | ٢ - مصهور لأحد الأملاح |
| ٣ - وعاء معدني | ٤ - طبقة عازلة |



شكل (١٠٥) بين الإلكترودات المغمورة في فرن تسخين

- | | |
|------------------------|----------------|
| ١ - وعاء حراري | ٢ - طبقة عازلة |
| ٣ - مصهور لأحد الأملاح | ٤ - إلكترودات |



شكل (١٠٦) فرن التسخين بالإلكترودات مغمورة ، معلقة ومتجاورة

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| ١ - إلكترودات | ٢ - وعاء معدني أو حراري |
| ٣ - مصهور لأحد الأملاح | ٤ - طبقة عازلة |

وفي النوع الثالث من الأفران ذات الإلكترودات المغمورة ، حيث يوضع الإلكترودان متلفن ومتجاورين كما هو موضح في الشكل (١٠٦) ويصنع الوعاء من المعدن أو من مواد

حرارية . ولهذا الطراز من الأفران سمة خاصة مميزة ، إذ يتولد مجال كهرومغناطيسي عند سريان التيار الكهربائي ، ويستغل هذا المجال الكهرومغناطيسي في انتشار وتوزيع مصهور المعدن خلال حركة دورانية .

ويمكن شرح نظرية الانتشار بالحركة الدورانية للقوى الكهرومغناطيسية كما في الشكل (١٠٧) كما يلي :

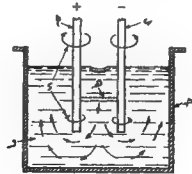
عند وضع موصل يحمل تيارا كهربائيا في مجال مغناطيسي ، فإن الموصل يميل إلى الحركة على زوايا قائمة (عموديا) مع اتجاه سريان التيار الكهربائي . وبتطبيق هذه القاعدة في سالة مصهور الملح : الإلكترونات (-) ب مفسوران عموديا ومتجاوران في مصهور الملح (و) يتدفق تيار كهربائي بأهمية عالية (٣٠٠٠ أمبير مثلا) خلاصا .

عندئذ يحاط كل الإلكترون ب خطوط القوى (د) التي تكون حل حية دائرية . ويتدفق تيار كهربائي بكفاءة عالية بين الإلكترونين عند جميع النقاط من سطح المصهور إلى أطراف الإلكترونين .

وباختيار عنصر شعيل من التيار (هـ) ، بين الإلكترونين ، فإن التيار المنتقل عند أية لحظة من أ ، إلى ب مع المجال الكهرومغناطيسي الناتج من الإلكترونين سوف يمتد خارج مستوى الشكل عند النقطة (هـ) ، ومن ثم يتعرض الموصل أو مصهور الملح لنزى يحمل التيار الكهربائي لقوة تمحرك في اتجاه أسفل الإلكترونين كما هو مبين بالسهم .

ومن الممكن التحكم في ضبط درجة حرارة مصهور الملح بالأجهزة المعتادة ، مثل المزدوجة الحرارية ، ووسائل التحكم الضوئية وغيرها .

وتصنع الإلكترونات من فلزات مختلفة كالحديد ، ومن الحديد الكرومي ، ومن سبائك الحديد والتيتال والكروم ، ويتوقف اختيارها على درجة حرارة انصهار الملح المستخدم ، والخواص الكيميائية لمصهور الملح .



شكل (١٠٧)

نظرية الانتشار بالحركة الدورانية للقوى
المغناطيسية في فرن بالكترودات مفسورة

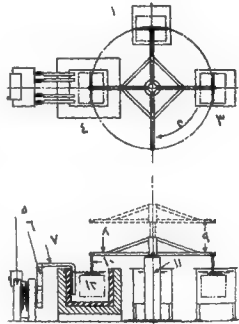
وعند تصميم الفرن ، يجب مراعاة أن تكون المساحة المكشوفة المعرضة للهواء الجوى أقل ما يمكن ، حتى يكون الفاقد من الحرارة أقل ما يمكن بقدر الإمكان .

ويتم الفرن من نوع الإلكترود المغمور ، تصميم حوض الملح بأى حجم وبأى شكل ، وبفضل تسخينه الداخلى ، تفسن عمرا أطول للحوض الذى يحتوى على مصهور الملح . وبفضل كل هذه العوامل مجتمعة ، بالإضافة إلى إمكانية توليد أية قدرة مطلوبة داخل الحوض ، لذلك فمن المستصوب عمليا ميكنة مثل هذه الأفران ، بحيث يمكن تسخين المشغولات على سيور ناقلة بطريقة مستمرة . ومن هذه التصميمات ، ما يجهز به الفرن الموضح بالشكل رقم (١٠٨) ، إذ تملق المشغولات في خطافات مناسبة ، حيث تدور بواسطة جهاز يقام في مركز دائرة ، بها حوضان أو أكثر تحوى أنلحاحا منصهرة أو أساط تسقية مناسبة .

شكل (١٠٨)

تصميم حديث لفرن بالكترودات مغمورة :

- ١ - حوض تسقية
- ٢ - اتجاه الحركة
- ٣ - حوض غسيل
- ٤ - مصهور ملحى
- ٥ - محول كهربائى
- ٦ - قضبان عمودية
- ٧ - إلكترودات
- ٨ - آلية النقل
- ٩ - مقدار رفع آلية النقل
- ١٠ - عمود تثبيت الشغلة
- ١١ - آلية الرفع إلى أعلا
- ١٢ - الشغلة



وهناك تصميم آخر ، يعرف بالنقله المولوية ، كما في الشكل رقم (١٠٩) ، يحتوى على ذراع ممتدة على حوض الملح المنصهر ، وتدار هذه الذراع بواسطة موتور كهربائى ، ويعلق في هذه الذراع المشغولات أو سلات تحوى المشغولات الصغيرة ، ويدوران هذه الذراع حول محورها ، تنحرك المشغولات بالسرعة المطلوبة على امتداد الحوض . ومن ثم يمكن التحكم في درجة الحرارة والزمن .

الباب السادس

سبائك الألومنيوم وخواصها

لما كانت سبائك الألومنيوم متعددة ومتنوعة . وفي الوقت نفسه ، لما كانت كل سبيكة تحتوي على عدة عناصر سبكية مختلفة ، لذلك فإنه من الصير الدلالة عليها في كل مرة برموزها الكيميائية . إذ أنها عملية شاقة ، عرضة لخطأ عند كتابة الرموز ونسبها المئوية ، بالإضافة إلى طولها ، الأمر الذي قد يشتت ذهن القارئ . وتسهيلاً للموقف ، نقوم هيئات المواصفات القياسية الوطنية ، والشركات المنتجة ، بالتدليل على تلك السبائك برموز وأرقام معينة . وفي الواقع لا تعني هذه الرموز والأرقام شيئاً أكثر من ذلك . ولما كانت هيئات المواصفات القياسية في مصر وفي باقي الدول العربية ، لم تصدر بعد تصنيفاً رمزياً للألومنيوم وسبائكه ، فلقد رأينا وضع رموز نستعين بها في شرح وتصنيف هذه السبائك . لذلك نرجو ألا يفتب عن الذهن ، أنها اصطلاحات محلية في نطاق هذا الكتاب ، وإن كانت مستمدة من المواصفات القياسية لهذا الموضوع في الدول الرئيسية التي تنتج الألومنيوم وسبائكه .

رموز التصنيف العام للسبائك

- أ : ألومنيوم نق (٩٩,٩٩٩٪ لو)
 ب : ألومنيوم نق تجارياً (٩٩,٠٠٠٪ لو)
 ج : سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل (بأساليب الطرق ، والسحب ، والدرفلة ، والبق ، إلخ) .
 د : سبائك الألومنيوم للسبوكات . (الشبكة الرملية ، وفي قوالب معدنية ، إلخ)

رموز تصنيف المعاملات الحرارية

- ع : سبيكة مخمرة وأعيد تبلورها .
 ١ع : سبيكة عوملت حرارياً لإذابة مكوناتها في محلول جامد متجانس .
 ٢ع : سبيكة عوملت حرارياً لإذابة مكوناتها في محلول جامد متجانس ، ثم تعرضت بعد ذلك لتعتيق إزمانى اصطلاحى .
 ٣ع : سبيكة عوملت حرارياً لإذابة مكوناتها في محلول جامد متجانس ، ثم تعرضت لعملية تثبيت بلورى .

الخواص الميكانيكية

في جداول الخواص الميكانيكية السالك الواردة في هذا الباب :

- ١ - أجريت اختبارات الاستطالة على عينات كل منها على شكل شريط سمكه ١,٦ ملليمتر .
- ٢ - أجريت اختبارات الصلادة بكرة بريزل قطرها ١٠ ملليمترات ، تحت حمل قدره ٥٠٠ كيلو جرام .

العناصر الرئيسية في السالك

- (٢ ج إلى ٩ ج) : النحاس يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
 (٤ د ، ٧ د ، ٨ د ، ٩ د ، ١٢ د ، ١٣ د ، ١٤ د) : النحاس يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
- (١ ج) : المنجنيز يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
 (١٢ ج إلى ١٥ ج) : المنيوم يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
 (١٥ د إلى ١٨ د) : المنيوم يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
 (١٠ ج ، ١١ ج) : السيليكون يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
 (١ د إلى ٣ د ، ١٠ د ، ١١ د ، ١٩ د ، ٢٤ د) : السيليكون يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
- (١٦ ج ، ١٧ ج ، ٢٦ د) : الزنك يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .
 (٢٥ د) : القصدير يمثل العنصر السبيكي الرئيسي فيها .

(ج) سالك الألومنيوم للتشكيل :

- ١ ج : لو - ١٢ من
- ٢ ج : لو - ٥٥ نخ - ٥٥ ص - ٥٥ يز
- ٣ ج : لو - ٤ نخ - ٦ من - ٦ مغ - ٥ ص - ٥ ص
- ٤ ج : لو - ٤ نخ - ٨ من - ٨ ص - ٤ ص
- ٥ ج : لو - ٥ نخ - ١٠ من - ٨ ص - ٤ مغ (مكية بسبيكة لو - ١٠ ص - ٧ ص - ٥ من)
- ٦ ج : لو - ٤ نخ - ٥ ص - ٥ مغ - ٥ ص
- ٧ ج : لو - ٤ نخ - ٢٠ ص - ٥ ص - ٥ ص
- ٨ ج : لو - ٥ نخ - ١٥ ص - ٦ من
- ٩ ج : لو - ٥ نخ - ٨ من - ٨ ص

- ١٠ ج : لو-١٢٥٠س-١٥٠مخ-٩٠نخ-٩٠نك
 ١١ ج : لو-١٥٠س-٦٠مخ-٢٥٠كر
 ١٢ ج : لو-٢٥٠مخ-٢٥٠كر
 ١٣ ج : لو-١٣٠مخ-٧٠س-٢٥٠كر
 ١٤ ج : لو-٢٥٠مخ-١٠٠من-١٠٠كر
 ١٥ ج : لو-١٥٠مخ-٦٠س-٢٥٠نخ-٢٥٠كر
 ١٦ ج : لو-٥٥٠خ-٢٥٠مخ-١٥٠نخ-٢٠كر-٢٠من
 ١٧ ج : لو-٦٤٠خ-٢٥٠مخ-١٢٠نخ .

(د) سبائك الايتيوم لمسوكات :

- ١ د : لو-١٢س
 ٢ د : لو-٥س
 ٣ د : لو-٥س-٤نخ
 ٤ د : لو-٤نخ-٣س
 ٥ د : لو-٥س-٣نخ
 ٦ د : لو-٥٥٠س-٤٠نخ
 ٧ د : لو-٧نخ-٢س-١٧٠خ
 ٨ د : لو-٧نخ-٣٥٠س
 ٩ د : لو-١٠٠نخ-٢٠مخ
 ١٠ د : لو-١٢س-٢٥٠نك-١٢٠مخ-٨٠نخ
 ١١ د : لو-١٢س-١٥٠نخ-٧٠من-٧٠مخ
 ١٢ د : لو-٤نخ-٢نك-١٥٠مخ
 ١٣ د : لو-٤٠نخ
 ١٤ د : لو-٥٠٠نخ-٢٥٠س
 ١٥ د : لو-٣٨٠مخ
 ١٦ د : لو-٣٨٠مخ-٨٠خ
 ١٧ د : لو-٨٠مخ
 ١٨ د : لو-١٠٠مخ
 ١٩ د : لو-٦س-٢٥٠نخ
 ٢٠ د : لو-٥س-١٣٠نخ-٥٠مخ
 ٢١ د : لو-٧س-٣٠مخ

- ٢٢ د : لو-٨ س-١٥٠ نخ-٥٣ مغ-٥٣ من
 ٢٣ د : لو-٩٥ س-٥٣ مغ
 ٢٤ د : لو-٨٥ س-٣٥ نخ
 ٢٥ د : لو-٦٥ ق-١ نخ-١ نك
 ٢٦ د : لو-٥٥ غ-٦٥ مغ-٥٥ كر-٥٢ ق

الألومنيوم النقي لو ٩٩,٩٩٦٪
 (السيكة أ)

- ب- الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩٨٩ جرام / سم^٣
 عند ٢٥°م : ٢,٦٩٧٨ جرام / سم^٣
 ج- درجة حرارة الانصهار : ٩٦٠,٢°م
 درجة حرارة التليان : ٢٠٦٠°م
 الحرارة النوعية (عند ١٠٠°م) : ٠,٢٢٢٦ كالورى / جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٤,٦ كالورى / جرام
 حرارة الاحتراق : ٧٣٨٩ كالورى / جرام
 د- الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد بيريتل)
٤٦٧	١٢١	٤٨,٨	١٧
١١١٠	١٠٦٠	٥,٥	٢٧

* * *

الألومنيوم النقي تجارياً لو ٩٩,٠٪

(السبيكة ب)

(١) الاستخدامات: التطبيقات التي تتطلب قابلية عالية للتشكيل ، أو مقاومة عالية للتآكل ، أو كليهما معا . وعندما لا تكون المتانة العالية هي المطلوبة . أواني الطبخ ، وأوعية حفظ الأطعمة ، والمواد الكيميائية، إلخ .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧١ جم/سم^٣

الانكماش نتيجة التجمد : ٦,٦٪

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٩٥٧° م

درجة حرارة خط الجمود : ٩٤٣° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٢٩٧ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

الموصلية الحرارية عند ٢٥° م : ٠,٥٣ كالورى/سم^٢ / م / ث

حرارة الاحتراق : ٧٤٠٠ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٢٩٠° م

د- الخواص الميكانيكية : (لسبيكة غمرة وأعيد تبلورها)

الخواص الميكانيكية للألومنيوم النقي (تجارياً) المغمر

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد رينل)	مقاومة القصر كجم/م ^٢	معامل المرونة كجم/م ^٢
٩١٠	٣٥٠	٤٥	٢٣	٦٦٥	٧٠٠٠٠٠

تغير بعض الخواص الميكانيكية باختلاف درجة الحرارة

درجات الحرارة المثوية			
٢٠٠	١٥٠	٢٥	
٤٢٠	٥٢٥	٩٠٠	مقاومة الشد ، كجم/سم ^٢
٢١٠	٢٤٥	٣٥٠	مقاومة الخضوع ، كجم/سم ^٢
٧٠	٦٥	٤٥	الاستطالة (%)

د - حدود التركيب الكيميائي % :

لو	(حد أدنى)	٩٩
ح + س	(حد أقصى)	١
نح	(حد أقصى)	٠,٢
من	(حد أقصى)	٠,٥
خ	(حد أقصى)	١

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٠ °م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٥١٠ °م

المعاملة الحرارية : يجرى التخمير عند ٣٤٥ °م

سبائك الألومنيوم القابلة لتشكيل

لو - ١٥٢ من
(السبيكة ١ ج)

(١) الاستخدامات : الأغراض التي تتطلب قابلية عالية لتشغيل ، أو مقاومة كبيرة لتآكل ، أو قابلية عالية لحام ، أو جميعها مجتمعة ، وأيضا كانت المتانة مطلوبة . أدوات المطبخ ، أوعية حفظ الأطعمة والمواد الكيماوية ، صهاريج الجازولين والزيوت .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٧٣ جم/سم^٣

درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٥ °م

درجة حرارة خط الانسداد : ٦٤٣ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣١٤ °م

(د) الخواص الميكانيكية (عينة مخدرة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢
١١٢٠	٤٢٠	٤٠	٢٨	٧٧٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

١.٥-١	من
٠.٢	نح (حد أقصى)
٠.٧	ح (حد أقصى)
٠.٦	س (حد أقصى)
٠.١	غ (حد أقصى)
٠.١٥	شوائب أخرى (حد أقصى)

لو - ٥.٥ - نح - ٠.٥ - ٧ - ٠.٥ - بز
(السيكة ٢ ج)

(١) الاستعمادات : التطبيقات التي تتلزم قابلية عالية للتشغيل ومتانة كبيرة . تستخدم في صناعة أجزاء الماكينات الملولية (الفلاووظ) . المطروقات ، أجزاء الطائرات الحربية .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٧.٨٢ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٩٤٣° م

درجة حرارة غط الجمود : ٥٣٥° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠.٢٣ كالورى/جرام (تقريبا)

الموصلية الحرارية عند ٢٥° م : ٠.٣٧ كالورى/سم^٢/سم/م/ث

(د) الخواص الميكانيكية (لعينة عوملت حراريا ثم تعرضت للتشغيل على البارد) :

مقاومة القص	الصلادة	الاستطالة	مقاومة الخضوع	مقاومة الشد
كجم/سم ^٢	(عدد برينل)	٪	كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢
٢١٠٠	٩٥	١٥	٣٢٩٠	٣٧١٠

(هـ) الحدود الكيميائية ولأغراض صناعة الطائرات الحربية (٪) :

٣.٦-٢.٥	نح
٢ - ٠.٧	بز
٠.٧-٠.٤	ص
٠.١	الشوائب الأخرى (ح ، غ ، س ، ز) ، (حد أقصى)

• النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥ °م

• درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٠ °م

لو - ٤ نح - ٠,٦ من - ٠,٦ مغ - ٠,٥ - ٧ - ٠,٥ بر
(السبيكة ٣ ج)

(ا) الاستخدامات : المطروقات ، الأجزاء التى يمرى تشغيلها بالمحركات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٨١ جرام/سم^٣

(ج) المقاومة لتآكل الكيمايى : جيدة وتتحسن بتسقية هذه السبيكة سريعاً فى ماء بارد .

(د) الخواص الميكانيكية (السبيكة المسقاة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
٤٢٧٠	٢٤٥٠	٢٢	١٠٠	٧٣٥٠٠٠

(هـ) الحدود الكيمائية (%) :

نح	٤,٥ - ٣,٥
من	١ - ٠,٤
مغ	٠,٨ - ٠,٢
٧	٠,٧ - ٠,٢
بر	٠,٧ - ٠,٢

(و) درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٣٥٥ - ٤٠٠ °م

درجة حرارة التخمير : ٤٠٠ - ٤٢٥ °م

ويجرى التشريب الحرارى عند هذه الدرجة لمدة ساعة ، ثم يبرد بمعدل لا يزيد على ١٠ °م فى الساعة ، حتى تصل درجة الحرارة إلى ٢٨٠ °م .

لو - ٤,٤ نخ - ٠,٨ س - ٠,٨ من - ٠,٤ مغ
(السبيكة ٤ ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية ، وقابلية جيدة للتشكيل ، وصلادة كبيرة . المطروقات ذات الأداء الممتاز . بعض أجزاء الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٨ جرام/سم^٣ .

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ١٣٨° م

درجة حرارة خط الجعود : ١٠° م

الحرارة النوعية عند ١٠° م : ٠,٢٣ كالورى/سم

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤٥° م

(د) الخواص الميكانيكية (مينة خضرة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
١٨٩٠	٩٨٠	١٨	٤٥	١٢٦٠

(٥) المفعود الكيميائية (%) :

نخ ٥ - ٣,٩
س ١,٥ - ١,٢
من ٤ - ١,٢
مغ ٢ - ٠,٨

لو - ٤,٥ نخ - ١,٥ س - ٨,٥ من - ٤,٥ مغ
مكببة ببيكة لو - ١,٥ نخ - ٧,٥ س - ٥,٥ من
(البيكة ٥ ج)

- (١) الاستخدامات : تستخدم في صناعة الأجزاء التي تتطلب متانة عالية ، قابلية كبيرة لتشكيل ومقاومة ممتازة لتآكل الكيمائي .
(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٨ جرام/سم^٣
(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦٣٧° م
درجة حرارة غط الجسود : ٥٢٥° م
(د) الخواص الميكانيكية (للألواح المدغلة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢
١٧٥٠	٧٠٠	٢٢	٣٠١٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نخ	الفلز	الكسوة
٣,٩ - ٥	١,٢ - ٣,٥	٠ - ٠,١
٣,٩ - ٥	١,٢ - ٣,٥	٠ - ٠,١
٣,٩ - ٥	١,٢ - ٣,٥	٠ - ٠,١
٣,٩ - ٥	١,٢ - ٣,٥	٠ - ٠,١

* * *

لو - ٤,٥ نخ - ٥,٥ مغ - ٥,٥ من
(البيكة ٦ ج)

- (١) الاستخدامات : التطبيقات التي تستلزم متانة عالية نسبيا ، وقابلية كبيرة لتشكيل ومقاومة لتآكل الكيمائي . بعض أجزاء الطائرات ، مسامير البرشام .
(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٩ جرام/سم^٣
(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦٤١° م

درجة حرارة المصود : 13°C
 الحرارة للتوعية عند 100°C : 0.23 كالوري/جرام
 درجة حرارة إعادة التبلور : 345°C
 (د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ²	مقاومة الخضوع كجم/سم ²	الامتطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ²
١٨٢٠ (ع)	٧٠٠	٠٠	٤٥	١٢٦٠
٤٣٤٠ (١٦)	٢٨٠٠	٢٢	١٠٥	٢٦٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%):

نح	من	مع
النفثان والأسلاك	٢.٥ - ٤.٥	٠.٢ - ٠.٨
المطروقات	٣.٥ - ٤.٧	٠.٢ - ٠.٧٥

- النطاق الحراري للانصهار : $675 - 745^{\circ}\text{C}$
- درجة حرارة التشغيل على الساخن : $260 - 480^{\circ}\text{C}$

لو - ٤ - نح - ٢ - نك - ٠.٥ - مع (السيكة ٧ ج)

- (أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب مثانة كبيرة عند درجات الحرارة العالية ،
 الأسطوانات والكمبسات .
 (ب) الكثافة عند 20°C : 2.8 جرام/سم³

- (ج) درجة حرارة خط السيولة : عند $^{\circ}\text{C} 63.8$ م
 درجة حرارة خط الجمود : $^{\circ}\text{C} 50.7$ م
 الحرارة النوعية عند $^{\circ}\text{C} 100$ م : 0.22 كالوري/جرام
 (د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم/سم ²	كجم/سم ²	%	(عدد برينل)	كجم/سم ²	كجم/سم ²
4410	3290	17	130	2730	742000

(هـ) الحدود الكيميائية (%):

نح	2.0 - 4.0
نك	1.7 - 2.3
منج	0.09 - 0.14

- (و) النطاق الحرارى للانصهار : $^{\circ}\text{C} 675 - 745$ م
 (ز) درجة حرارة التشغيل على الساخن : $^{\circ}\text{C} 290 - 480$ م

لو - 4.5 - نح - 1.5 - منج - 0.9 من
(السيكة ٨ ج)

- (١) الاستعمالات : هياكل الطائرات ، أغراض البرشمة . كثير من الانشعاعات المعدنية .
 (ب) الكثافة عند $^{\circ}\text{C} 20$ م : 2.77 جرام/سم³
 (ج) درجة حرارة خط السيولة : $^{\circ}\text{C} 63.8$ م

درجة حرارة غط الجسود : 0.02°C
 الحرارة النوعية عند 100°C : 0.23 كالوري/جرام
 درجة حرارة إعادة التبلور : 0.340°C
 (د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ²	مقاومة الخضوع كجم/سم ²	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ²
(ع) 1890	770	22	42	1260
(ح) 4760	3220	22	120	2870

(هـ) الحدود الكيميائية (%):

نح	0.29 - 0.38
منج	0.18 - 0.22
من	0.09 - 0.03

(و) النطاق الحراري للانصهار : $670 - 740^{\circ}\text{C}$
 درجة حرارة التشغيل على الساخن : $260 - 480^{\circ}\text{C}$

لو - 405 نح - 0.8 من - 0.8 س

(السيكة 9 ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية كبيرة لتطريق وثانة عالية . مراوح الطائرات ، أذرع التوصيل المساعدة (في الطائرات) ، حلب المرافق المبركات نصف القطرية .

(ب) الكثافة عند 20°C : 2.79 جرام/سم³

(ج) درجة حرارة غط السيولة : 0.641°C

درجة حرارة غط الجسود : 0.021°C

الحرارة النوعية عند 100°C : 0.23 كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (٢ع) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد بيريتل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣٩٩٠	٢٤٥٠	١٨	١١٠	٧٢٨٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (المطروقات) (%) :

نح	٣,٩ - ٥
من	٠,٤ - ١,٢
س	٠,٥ - ١,٢
الشوائب (حد أقصى)	١%

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٥٧٥ - ٧٤٥°م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٩٠ - ٤٨٠°م

لو - ١٢,٥ س - ١,٠ مع - ٠,٩ نح - ٠,٩ نك

(البيكة ١٠ ج)

(١) الاستعمادات : التطبيقات التي تتطلب قابلية كبيرة للطرق وانخفاض معامل التمدد الحراري. الكيماويات المطروقة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة نخط السيولة : ٥٧١°م

درجة حرارة نخط الجمود : ٥٣٢°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (٢ع) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد بيريتل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣٩٢٠	٣٢٢٠	٨	١٢٥	٧٢١٠٠٠

(أ) الحدود الكيميائية (للمطروقات) % :

س	١١,٥ - ١٣,٥
نح	٥,٥ - ١,٣
مغ	٨,٠ - ١,٣
نك	٥,٥ - ١,٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥ °م

درجة حرارة التشغيل مل الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٥ °م

* * *

لو - ١,٥ س - ٥,٦ مغ - ٥,٢٥ كر

(السيكة ١١ ج)

(١) الاستعمادات : التطبيقات التى تتطلب قابلية لطرق ومثانة كبيرة ، ومقاومة عالية

للتآكل الكيميائى . حلب المرافق ، أجزاء المحصرات ، أجزاء السيارات والآلات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٦٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦٤٩ °م

درجة حرارة غط الجلود : ٥٥٢ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣٢٩٠	٢٨٠٠	٢٠	١٠٠	٧١٤٠٠٠

(أ) الحدود الكيميائية (%) :

س	٥,٦ - ١,٢
مغ	٨,٥ - ٥,٥
كر	١٥,٥ - ٥,٣

١ الشوائب (حد أقصى)

(و) النطاق الحرارى للانصهار :

٦٧٥ - ٧٤٥ °م

درجة حرارة التشغيل مل الساخن : ٢٦٠ - ٤٨٥ °م .

لو- ٢٥٥ مغ - ٥٢٥ كـ
(السيكة ١٢ ج)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة كبيرة لتآكل الكيمائى ، ومتانة متدلة . خطوط الوقود والزيت في الطائرات ، صُحارج الوقود . وسائل النقل البحرى المتنوعة .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٨ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٩° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٩٣° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٢٣, كالورى/جم

درجة حرارة إعادة التبلور : ٢٩٠° م

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
٢٠٣٠	٩٨٠	٣٠	٤٥	١٢٦٠

(هـ) الخفود الكيميائية (٪) :

٢,٨ - ٢,٢ مغ

٥,٣٥ - ٥,١٥ كـ

٥,٤٥

(ح+س)-حدافصى

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥° م

درجة حرارة التشغيل عل الساخن : ٢٦٠ - ٥١٠° م .

لو- ١٣،٣ مغ - ٠,٧ ص - ٢٥,٥ د كـ

(السيكة ١٣ جـ)

(٦) الاستخدمات : جميع التطبيقات التي تتطلب قابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة عالية لتآكل الكيماوي ، ومثانة متوسطة . معدات تكرير البترول . المنشآت البحرية المختلفة .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٩ جم/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٥,٢° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧,٩° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤,٥° م

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (معدبريتل)	مقاومة التقص كجم/سم ^٢	مقاومة المرونة كجم/سم ^٢
١١٢٠	٤٩٠	٣٥	٢٦	٧٧٠	٧٠٠٠٠٠
٢٣١٠	١٤٠٠	٣٠	٦٥	١٤٠٠	٧٠٠٠٠٠
٢٧٣٠	٢٣١٠	٢٠	٨٠	١٦٨٠	٧٠٠٠٠٠

(٥) الحدود الكيماوية (٪) :

١,٤ - ١,١ مغ

٠,٣٥ - ٠,١٥ كـ

٠,٤٥ - ٠,٦٥ من المنغنسيوم ص

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥° م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٥١٠° م .

لو-٥٢، مغ-٥١، من-٥١، كر

(السيكة ١٤ ج)

(١) الاستعدادات : إنتاج الأسلاك التي تتمتع بمقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي . البرشة مع سبائك المنسيوم . تنظيف الكابلات .

(ب) الكثافة عند 20°C : $2,64 \text{ جم/سم}^3$

(ج) درجة حرارة خط السائلة : 638°C

درجة حرارة خط الجمود : 608°C

الحرارة النوعية عند 100°C : $0,23 \text{ كالوري/جم}$.

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	معامل المرونة
كجم/سم^2	كجم/سم^2	%	كجم/سم^2
٢٩٤٠	١٤٠٠	٣٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%):

مغ-٤,٥

مغ

من-٥,٢

من

كر-٥,٢

كر

(و) النطاق الحراري للانصهار : $675-745^{\circ}\text{C}$

درجة حرارة التشغيل على الساخن : $260-510^{\circ}\text{C}$

المعاملة الحرارية : التلدين عند 345°C

لو - ١٥٠ مغ - ٠,٦ س - ٠,٢٥ نخ - ٢٥ د كر

(السبكة ١٥ ح)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية ، وقابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة متنازة للتآكل الكيميائي . صناعة القوارب ، وزوارق السباق ، وقطع الأثاث ، ومعدات النقل .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السهولة : ١٥٢° م

درجة حرارة خط الجسود : ٥٨٢° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤٥° م .

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢
١٢٦٠	٥٦٠	٣٠	٣٠	٨٧٥	٧٠٠٠٠٠
٢٤٥٠	١٤٧٠	٢٨	٦٥	١٦٨٠	٧٠٠٠٠٠
٣١٥٠	٢٨٠٠	١٥	٩٥	٢١٠٠	٧٠٠٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

١,٢ - ٠,٨

مغ

٠,٨ - ٠,٤

س

٠,٤ - ٠,١٥

نخ

٠,٣٥

كر (حافض)

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٥ - ٧٤٥° م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ - ٥١٠° م

لو - ٥,٥ غ - ٢,٥ مغ - ١,٥ نخ - ٠,٣ كر - ٠,٢ من
(السبيكة ١٦ ج)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية ، ومقاومة كبيرة لتآكل الكيماويات .
تستخدم هذه السبيكة في صناعة بعض أجزاء الطائرة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السولة : ٩٣٨°م

درجة حرارة خط الجسود : ٤٧٦°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٤١٥°م

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢
مبثقات					
(ع) ٢٨٠٠	١٤٠٠	١٢	٠٠	٠٠	٧٢٨٠٠٠
(٢٤) ٦١٦٠	٥٦٠٠	١٠	١٥٠	٣٢٩٠	٧٢٨٠٠٠
منتجات أخرى غير مكسية					
(ع) ٢٣١٠	١٠٥٠	١٢	٠٠	٠٠	٠٠
(٢٤) ٢٢٤٠	٥٠٤٠	١٠	١٥٠	٠٠	٠٠

(٥) الحدود الكيميائية (%) :

خ	مخ	نخ	من	كسر
قصبان الألومنيوم:				
١,٥ - ١,٦	٢,٩ - ٢,١	٢ - ١,٢	٠,٣ - ٠,١	٠,٤ - ٠,١٥
ألواح مكية:				
١,٥ - ١,٦	٢,٩ - ٢,١	٢ - ١,٢	٠,٣ - ٠,١	٠,٤ - ٠,١٥
والكمية				
١,٢٥ - ٠,٧٥	٠,١ - ٠,٣	٠,١ - ٠,٣	٠,١ - ٠,٠	-

(و) النطاق الحراري للانصهار : $٧٤٥ - ٦٧٥^{\circ}\text{م}$

درجة حرارة التشغيل على الساخن : $٢٦٠ - ٤٥٥^{\circ}\text{م}$

لو - ٦,٤ خ - ٢,٥ مخ - ١,٢ نخ

(الشبكة ١٧ ج)

(ا) الاستخدامات : صناعة الطائرات ووسائل النقل الأخرى .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : $٢,٨٢$ جرام / $\text{سم}^٣$

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	معامل المرونة
كجم / $\text{سم}^٢$	كجم / $\text{سم}^٢$	%	كجم / $\text{سم}^٢$
٢١٠٠	١٠٥٠	١٨	٧٢٨٠٠٠

(و) درجة حرارة التشغيل على الساخن : $٣٧٠ - ٤٢٥^{\circ}\text{م}$

درجة حرارة التلدين : $٣٥٥ - ٣٧٠^{\circ}\text{م}$. يتم التبريد إلى ٢٢٠°م ثم الاحتفاظ

بهذه الدرجة لمدة ٤ ساعات .

مبيبات الألومنيوم المسبوكات

لو - ١٢ س
(السبيكة ١ د)

(١) الاستعمادات : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة السباكة ، ومقاومة عالية لتآكل الكيماوي . تدغل في صناعة مسبوكات الألومنيوم المختلفة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٦ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السويقة : ٥٨٥°م

درجة حرارة خط الجميد : ٥٧٤°م

الحرارة التجمدية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري / جرام

الحرارة الكامنة للإنبهار : ٩٣ كالوري / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة في قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم / سم ^٢
٢٥٩٠	١٢٦٠	١,٨	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

س ١١ - ١٣

الشوائب (حد أقصى) ٢ (ح ، مغ ، من ، خ)

(و) النطاق الحراري للإنبهار : ٦٤٩ - ٧٦٠°م

درجة حرارة السباكة في قوالب معدنية : ٦٣٥ - ٧٠٤°م

لـ ٥ - س
(الشبكة ٢ د)

(١) الاستخدامات : السباكة في قوالب معدنية : التطبيقات التي تتطلب مطيلية مناسبة ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي .

السباكة في قوالب رملية ودائمة : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة للسباكة ، ومقاومة للتآكل الكيميائي مع مثانة مناسبة . أواني الطبخ ، الأدوات المنزلية ، بعض أجزاء المعدات البحرية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٦٢°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٧°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري / جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم ^٢
السباكة في قوالب معدنية	١٦٨٠	٠٠	٠٠	٠٠
السباكة الرملية	١٣٣٠	٦	٤٠	٩٨٠
السباكة في قوالب دائمة	١٦٨٠	٩	٤٥	١٢٦٠

(٥) الحدود الكيميائية (%) :

الشوائب (حد أقصى)							
س	ح	نح	مغ	من	خ	نك	
٦-٤,٥	٢	٠,٦	٠,١	٠,٣	٠,٥	-	السباكة في قوالب معدنية
٦-٤,٥	٠,٨	٠,١	٠,٥٥	٠,١	٠,٢	٠,٢	السباكة الرملية
٦-٤,٥	٠,٨	٠,١	٠,٥٥	٠,١	٠,١	٠,٢	السباكة في قوالب دائمة

(و) النطاق الحرارى للانصهار :

- (السباكة فى قوالب) : ٦٤٩ - ٧٦٠ °م
 (السباكة الرملية وفى قوالب دائمة) : ٦٧٧ - ٨١٦ °م
 درجة حرارة السباكة :
 (السباكة فى قوالب) : ٦٣٥ - ٧٠٤ °م
 (السباكة الرملية وفى قوالب دائمة) : ٦٧٧ - ٧٨٨ °م

* * *

لو - ٥ - س - ٤ نـ
 (السبيكة ٣ د)

(١) الاستعمادات : تختلف التطبيقات للمادة

- (ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٧٨ جرام / سم^٣
 (ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦١٣ °م
 درجة حرارة غط الجمود : ٥٢١ °م
 الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى / جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب معدنية) :

مقاومة الشد	مقاومة انحنى	الاستطالة	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	كجم / سم ^٢
٢٨٠٠	١٥٤٠	٣,٥	٧٢١٠٠٠

(٥) الحدود الكيميائية « العصب فى قوالب معدنية » (%) :

- س : ٤,٥ - ٥,٥
 نـ : ٣,٥ - ٤,٥
 الشوائب (حد أقصى) : ٢,٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ - ٧٦٠ °م
 درجة حرارة السباكة : ٦٣٥ - ٧٠٤ °م

لو - ٤ نغ - ٣ س
(السيكة ٤ د)

(أ) الامتخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً سيكية جيدة ، وقابلية جيدة للحام ، ومتانة مناسبة . الصيانات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٧,٧٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦٣٢° م

درجة حرارة غط الجسود : ٥٢١° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السيكة الرملية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
١٤٧٠	٩٨٠	٢,٥	٥٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية «السيكة الرملية» (٪) :

نغ ٣,٥ - ٤,٥

س ٢,٥ - ٣,٥

ا

الشوائب (حد أقصى)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ١٧٧ - ٨١٦° م

درجة حرارة السيكة : ١٧٧ - ٧٨٨° م

لو - - س - - ٣ نج
(السيكة د د)

(أ) الاستخدامات : الأغراض العامة التي تستخدم فيها السبابة الرملية والسبابة في قوالب دائمة ، حيث لا تلزم معاملة حرارية لتحسين خواصها الميكانيكية .

(ب) الكثافة عند ٢٠م : ٢,٧٦ جرام/سم^٣
(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %
السبابة الرملية		
١٨٩٠	٩٨٠	٢,٥
٢٠٣٠	١٢٦٠	٢
٢٤٥٠	١٤٠٠	٤
٢٥٩٠	١٦١٠	٢,٥
السبابة في قوالب دائمة		
٢٤٥٠	١٢٦٠	٣
٢٥٩٠	١٥٤٠	٢
٢٩٤٠	١٥٤٠	٥
٢٩٤٠	١٦١٠	٣

(٥) الحدود الكيميائية : السبابة الرملية والسبابة في قوالب دائمة (%) :

س ٤,٥ - ٦
نج ٢,٥ - ٣,٥
الشوائب (حد أقصى) ٠,٢

لو - ٥٥ س - ٤٥ نح
(السيكة ٥٦ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصا سيكية جيدة ، وقابلية حسنة للام ، ومثانة مناسبة . أغراض الزينة والخراوف ، الأغراض العامة لمصبوبات الألومنيوم

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٩ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦١٦°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥١٦°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (البسكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
١٩٦٠	١١٢٠	٢	٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية و البسكة في قوالب دائمة (%) :

س ٥ - ٦
نح ٤ - ٥
الشوائب (حد أقصى) ١

(و) النطاق الحرارى للانصهار ٥٧٧ - ٨١٦°م

درجة حرارة البسكة ٦٧٧ - ٧٨٨°م

لو - ٧ - نج - ٢ - س - ١٧ - خ
(المبيكة ٥٧)

(أ) الاستخدمات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً سبكية جيدة ، وقابلية عالية جداً للتشكيل . الأغراض المختلفة لمصهورات الألومنيوم التي تتطلب إحكاماً للضغط .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٩١ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦٢٩°م

درجة حرارة غط الجمود : ٥٢٤°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبائك الرملية) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	معامل المرونة
كجم/سم ^٢	كجم/سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم/سم ^٢
١٦٨٠	١٠٥٠	١,٥	٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيمائية والسبائك الرملية (%) :

٨ - ٦

نج

٣ - ١

س

٢,٥

خ (حد أقصى)

١,٤

الشوائب (حد أقصى)

٦٧٧ - ٨١٦°م :

(و) النطاق الحراري للانصهار

٦٧٧ - ٧٨٨°م :

درجة حرارة السبائك

لو - ٧ نج - ٢٥ س
(السيكة ٨ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً سبكية جيدة ، وقابلة عالية لتشكيل .
قلايات مكثات الفسيل ، رؤوس الاسطوانات في محركات السيارات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٩١ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩° م

درجة حرارة خط الجمود : ٢٤° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السيكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢١٠٠	١٦٨٠	١	٨٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية والسيكة في قوالب رملية (%) :

٦ - ٨

٤

١,٤

نج
س (حد أقصى)
الشوائب (حد أقصى)

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦° م

درجة حرارة السيكة : ٦٧٧ - ٧٨٨° م

لو - ١٠ نج - ٢٠ مغ
(السيكة ٩ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية عند درجات الحرارة العالية ،
وصلادة كبيرة ، ومقاومة للبرى والتآكل ، وقابلة جيدة لتشكيل . رؤوس الاسطوانات
التي تبرد بالهواء . الكبسات في محركات السيارات . الحلب ووصلات المواسير .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٩٥ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٧° م

درجة حرارة خط الجمود : ٤١° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام
(د) الخواص الميكانيكية (البهاكة الرملية ، منتجات أجرى تخميرها) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة القص كجم/سم ^٢	الصلادة (عدد برينل)	الامتطالة %	مقاومة الخنسوع كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
١٨٩٠	١٤٧٠	٨٠	١	١٤٠٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

-	نح	مغ	الشوائب (حد أقصى)			
			ح	س	من	خ
البهاكة الرملية البهاكة في قوالب دائمة	١٠,٨-٩,٢	٠,٣٥-٠,١٥	١,٥	٢	٠,١	٠,١
	١٠,٧-٩,٢	٠,٣٥-٠,١٥	١,٥	—	٠,٣	٠,٤

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م
درجة حرارة البهاكة :

١- بهاكة رملية : ٦٧٧ - ٧٨٨ م^٥
٢- قوالب دائمة : ٦٧٧ - ٧٨٨ م^٥

لو - ١٢ س - ٢,٥ نلك - ١,٢ مغ - ٠,٨ نح
(البهكة ١٠ د)

(المبيوكات في قوالب دائمة)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب مثانة عالية عند درجات الحرارة المرتفعة وبماثل تمدد سرارى صغير ، ومقاومة جيدة للتآكل والبلل . الكباسات في محركات البنزين والديزل .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٨ جرام / سم^٣

- (ج) درجة حرارة خط السيولة : $^{\circ}\text{C} 91.0$
 درجة حرارة خط الجليد : $^{\circ}\text{C} 38.0$
 الحرارة للتوصية عند $^{\circ}\text{C} 100$: 23.0 كالورى / جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : 94 كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (البياقة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم^2	كجم / سم^2	%	(عدد برينل)	كجم / سم^2	كجم / سم^2
2020	1960	0.5	100	1680	221000

(هـ) الخواص الكيميائية (%) :

س	نح	مخ	نك	شوائب (حد أقصى)
11 - 14	0.5 - 1.5	0.7 - 1.4	2 - 4	1.3

- (و) النطاق الحرارى للانصهار : $^{\circ}\text{C} 67 - 118$
 درجة حرارة البياقة : $^{\circ}\text{C} 67 - 118$

لو - 12 س - 10.5 نح - 0.7 من - 0.7 مخ . (البياقة 11.5)

(أ) الاستطهادات : الكباسات في آلات الاحتراق الداخلى التى تجتمع بين المثانة العالية عند درجات الحرارة المرتفعة ، وضخامة معامل التمدد الحرارى .

- (ب) الكثافة عند $^{\circ}\text{C} 20$: 2.7 جرام / سم^3

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الإستطالة %	الصلادة (عدد برينل)
٣٠١٠	٢٦٦٠	١	١٠٠

(هـ) الخمد الكيميائي (%) :

نخ	نخ	من	س
٢ - ١	١ - ٠,٤	٠,٩ - ٠,٥	١٢ - ١١

* * *

لو - ٤ نخ - ٢ نك - ١,٥ نخ
(السبيكة ٥١٢)

(١) الاستعمادات : التطبيقات التي تتطلب شانة متنازة عند درجات الحرارة العالية . كبسات الموزيكلات ومحركات الديزل والطائرات . رؤوس الأسطوانات التي تبرد بالهواء . غلفة المولدات الكهربائية في الطائرات .

- (ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨١ جرام / سم^٣
 (ج) درجة حرارة نخط السيولة : ٥٦٢٩°م
 درجة حرارة نخط الجسود : ٥٥٣٥°م
 الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري / جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري / جرام
 (د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الإستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم ^٢	معامل المرونة
١٨٩٠	١٢٦٠	١	٧٠	١٤٧٠	٧٢١٠٠٠
٢٨٠٠	٢٣٨٠	١	١٠٥	١٨٢٠	٧٢١٠٠٠

(أ) الحدود الكيميائية (٪) :

نح	٤,٥ - ٣,٥
مخ	١,٨ - ١,٢
نك	١,٧ - ٢,٣
الشوائب (حد أقصى)	٢,١

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٨١٦ - ٦٧٧ °م

درجة حرارة السباكة : ٧٨٨ - ٦٧٧ °م

لو - ٤,٥ نح
(السيكة ١٣ د)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواص شد متنازة وقابلية عالية للتشكيل . طلب الحدافات ، حلب المحاور الخلفية ، عجلات السيارات ، عجلات الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٨١ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ١٤٦ °م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٤٩ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالوري / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري / جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	٪	(عدد برينل)	كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢
٢٢٤٠ (١٥)	١١٢٠	٨,٥	٦٠	١٦٨٠	٧٢١٠٠٠
٢٥٢٠ (٢٥)	١٦٨٠	٥	٧٥	٢١٠٠	٧٢١٠٠٠

(أ) الحدود الكيميائية = سباكة وطنية (٪) :

٥ - ٤

نح
الشوائب (حد أقصى)
١,٥ (ح ، س ، مخ ، غ)

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٨١٦ - ٦٧٧ °م

درجة حرارة السباكة : ٧٨٨ - ٦٧٧ °م

لو - ٤٩٥ - نخ - ٢٥٠ م
(السبكة ١٤ د)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواص شد ممتازة وقابلية عالية للتشكيل . أجزاء

ضبط مدفع الطائرة . هجلات الطائرات . هياكل المقاعد في عربات السكك الحديدية .

أذرع التوصيل في الكباسات . مضخات الوقود .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٨ جم / سم^٣

(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦٢٧°م

درجة حرارة غط الجمود : ٥٢٧°م

أخرارة التبيعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٢ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم ^٢
(١٤) ٢٨٠٠	١٥٤٠	١٠	٧٥	٢١٠٠
(٢٤) ٣١٥٠	٢٣١٠	٥	٩٠	٢٢٤٠
(٣٤) ٢٨٢٠	١٤٠٠	٤,٥	٨٠	٠٠

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم / سم^٢

(هـ) الحدود الكيميائية و السبكة في قوالب دائمة و (%) :

نخ
٥-٤
٣-٢
س

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦°م

درجة حرارة السبكة : ٦٧٧ - ٧٨٨°م

لو - ٣٥٨ مخ
(السيكة ٥١٥)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب مقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي ، ولتأثيراً دائماً لا يتغير* . أدوات حفظ وتصنيع الألبان ، وأواني الطعام ، وأواني الطهي . لوازم الأعمال الصحية والكيميائية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٥ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤١°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩°م

الحرارة النوية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية) :

مقاومة الشد	مقاومة الخضوع	الاستطالة	الصلادة	مقاومة القص	معامل المرونة
كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢	%	(عدد برينل)	كجم / سم ^٢	كجم / سم ^٢
١٧٥٠	٨٤٠	٩	٥٠	١٤٠٠	٢٢١٠٠٠

(٥) الخفوف الكيميائية « السباكة الرملية » (%) :

٢,٢ - ٤,٣ مخ

مخ

الشوائب (حد أقصى) (٠,١ % مخ ، ٠,٦ % ح ، ٠,٣ % ص)

(و) النطاق الحراري للإنصهار : ٦٧٧ - ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨°م

لو - ٣٥٨ مخ - ١٥٨ خ
(السيكة ١٦ د)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب مقاومة جيدة لتآكل الكيميائي وانقضاء البريق . أدوات الطهي .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٥ جرام / سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م

درجة حرارة خط الجسود : °٥٦٦ م
 الحرارة النوعية عند ١٠٠ م : °٢٢ كالورى/جرام
 الحرارة الكامنة للانصهار : °٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الانضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القصر كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
١٨٩٠	١١٢٠	٧	٩٠	١٥٤٠	٧٢١٠٠٠

(أ) الحدود الكيميائية و السباكة في قوالب دائمة (%) :

٤,٣-٣,٥

مغ

٢,٢-١,٤

خ

الشوائب (حد أقصى) (٠,١٪ ليغ ، ٠,٣٪ من ، ٠,٤٪ ح)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ م

لو - ٨ مغ
(السبيكة ١٧ د)

(أ) الاصطدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصا ميكانيكية ممتازة ، ومقاومة عالية
 لآكل الكيميائى ، وخواصاً تشطيفية جذابة .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م : ٢,٥٣ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : °٦٢١ م

درجة حرارة خط الجسود : °٥٤١ م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ م : °٢٢ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : °٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبائك في قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢٩٤٠	٢٣١٠	٧	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السبائك في قوالب معدنية » (%) :

سبغ لثوائب (حد أقصى)	٨,٥ ح ، ٢,٥ نغ ، ٠,٣ س ، ٠,١ من
(و) النطاق الحرارى للانصهار	٦٤٩ - ٧٦٠ م
درجة حرارة السبائك	٦٣٥ - ٧٠٤ م

* * *

لو - ١٠ سبغ (السيكة ١٨ د)

(أ) الاستعمادات : التطبيقات التى تتطلب قابلية ممتازة لتشكيل ومقاومة عالية لتآكل الكيميائى مع متانة ومطيلية كبيرتين . هياكل عربات الركاب في السكك الحديدية .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م	: ٢,٥٨ م
(ج) درجة حرارة خيط السيولة	: ٦٢١ م
درجة حرارة خيط الجسود	: ٤٩٩ م
الحرارة النوعية عند ١٠٠ م	: ٠,٢٣ كالورى/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار	: ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبائك الرملية للسيكة ١٤) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣٢٢٠	١٧٥٠	١٤	٧٥	٢٣١٠	٧٢١٠٠٠

(٥) الحدود الميكانيكية للسبكة الرملية (%) :

١٠,٦-٩,٥

سغ

الفواثب (حد أقصى) (٢,٢ فتح ، ٢,٣ ح ، ٢,٢ س ، ٠,١ من)

• تؤدي زيادة نسبة النحاس أو النيكل في هذه السبكة ، إلى انخفاض المقاومة لتآكل الكيماويات ، كما تؤدي زيادة نسبة الحديد ، أو السيليكون ، أو المنجنيز ، إلى انخفاض الخواص الميكانيكية .

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ م
درجة حرارة السبكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ م

لو - ٦ س - ٣,٥ فتح
(السبكة ١٩ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصا سبكية جيدة ، وقابلية كبيرة للحام ، ومثانة مناسبة ، رؤوس اسطوانات السيارات . علب المرافق في محركات الاحتراق الداخلي .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م : ٢,٧٧ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٩٠٤ م

درجة حرارة خط الجمود : ٥١٠ م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٢ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السبكة الرملية ، والسبكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الانضغاط كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢
دون معاملة				
١٨٩٠	١٢٦٠	٢	٧٠	١٦٨٠
(ع ٢) ٢٥٢٠	١٦٨٠	٢	٨٠	٠٠٠
السبكة في قوالب دائمة				
دون معالجة				
٢٣٨٠	١٣٣٠	٢,٥	٨٥	١٦٨٠
(ع ٢) ٢٨٠٠	١٨٩٠	٣	٩٥	٠٠٠

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم/سم^٢
(٥) الحدود الكيميائية والسباكة الرملية ، والسباكة في قوالب دائمة (%) :

نح ٢,٥-٤,٥

س ٥ - ٧

الشوالب (١,٢ ح ، ٥,٥ مغ ، ٨,٥ من ، ١ خ)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ١٦٧ - ٨١٦ م^٥

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ م^٥

لو - س - ١,٣ نح - ٥,٥ مغ
(السبيكة ٢٥ د)

(أ) الاستعمادات : التطبيقات التى تتطلب قابلية جيدة للسباكة والمهام . أغطية الشحانات في الطائرات ، أجسام مضخات الوقود ، كياسات ضغطات الهواء ، رؤوس الإسطوانات التى تبرد بالماء . حلب المرافق لحركات الطائرات التى تبرد بواسطة السوائل . الدائرات المائية .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م^٥ : ٢,٧ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٦٢٧ م^٥

درجة حرارة غط الجمود : ٥٧٩ م^٥

الحرارة النوعية عند ٩٠ م^٥ : ٢٣,٥ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية ، والسباكة في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (معد برينل)	مقاومة القصر كجم/سم ^٢
السباكة الرملية				
٢٤٥٠	١٧٥٠	٢,٥	٨٠	٢١٠٠
٢٦٦٠	٢٥٢٠	٥,٥	٨٥	١٨٢٠
السباكة في قوالب دائمة				
٣٠١٠	١٨٩٠	٤	٩٠	٢١٠٠
٢٨٠٠	٢١٠٠	٢	٨٥	٢١٠٠

معامل المرونة : ٧٧١٠٠٠ كجم/سم^٢

(٥) الحدود الكيميائية : السباكة الرملية والسباكة في قوالب دائمة : (%) :

م	نح	مخ	الشوائب (حد أقصى)		
			ح	من	ق
٥,٥-٤,٥	١,٥-١	٠,٦-٠,٤	٠,٦	٠,١	٠,٢

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦ °م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨ °م

لو - ١ - م - ٠,٣ مخ (السبيكة ٢١ د)

(١) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة لسباكة والحام ، ومقاومة عالية لتآكل الكيميائى . أجزاء مضخات الطائرة ، بعض التركيبات الميكانيكية وأجزاء التحكم في الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠ °م : ٢,٦٨ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ١١٠ °م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩ °م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد بيريتل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢
السياكة الرملية				
٢٣١٠	١٦٨٠	٤	٧٠	١٨٩٠
٢٣٨٠	٢١٠٠	٢	٧٥	١٢٦٠
السياكة في قوالب دائمة				
٢٨٠٠	١٨٩٠	٥	٩٠	٠٠٠
٢٣١٠	٠٠٠	٥	٧٠	٠٠٠

معامل المرونة ٧٢١٠٠٠ كجم/سم^٢

(هـ) الخفوف الكيميائية « السياكة الرملية والسياكة في قوالب دائمة » (%) :

الشوائب (حد أقصى)					مغ	ص
نح	ح	من	خ	ق		
٠,٢	٠,٦	٠,١	٠,١	٠,٢	٠,٢-٠,٤	٧,٥-٩,٥

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦°م

درجة حرارة السياكة : ٦٧٧ - ٧٨٨°م

لو - ٨ س - ١,٥ نغ - ٠,٣ مغ - ٠,٣ من
(السبيكة ٢٢ د)

- (أ) الاستخدامات : الأغراض العامة للسبائك الرملية والسبائك في قوالب دائمة لسبيكة الألومنيوم . سبائك محركات الاحتراق الداخلي ، والأجزاء الأخرى من الآلات التي تتعرض لإجهادات عالية عند درجات الحرارة المرتفعة .
(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٣ جرام/سم^٣
(د) الخواص الميكانيكية (السبائك الرملية والسبائك في قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %
السبائك الرملية		
٢١٠٠	١٤٧٠	١,٥
٢٧٣٠	٢١٠٠	١,٥
السبائك في قوالب دائمة		
٢٥٢٠	٥٠٠	١
٣٠٨٠	١٨٩٠	٤

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نح ١ - ٢
مغ ٠,٢ - ٠,٦
من ٢ - ٠,٦
س ٧ - ٠,٦
ق ٣,٠ % (حد أقصى)

لو - ٩,٥ س - ٠,٥ مغ
(السبيكة ٢٣ د)

- (أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب قابلية ممتازة للسبائك ومقاومة عالية لتآكل الكيميائي . مختلف المسبوكات التي تتميز بجودتها وسكها الرقيق .
(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٦٨ جرام/سم^٣
(ج) درجة حرارة غط السيولة : ٥٩١° م
درجة حرارة غط الجلود : ٥٦٦° م
الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالوري/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٢ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السياسة في قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢٩٤٠	١٦١٠	١,٨	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

س	٩ - ١٠
صغ	٠,٤ - ٠,٦
الثواب (حد أقصى)	٢,٠ ح ، ٠,٦ نغ ٠,٣ من
(و) النطاق الحرارى للانصهار	: ٦٤٩ - ٧٦٠ م°
درجة حرارة للسياسة	: ٦٣٥ - ٧٠٤ م°

* * *

لو - ٨,٥ س - ٢,٥ نغ
(السياسة ٢٤ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات للأغراض العامة التي تتطلب قابلية جيدة للسياسة .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م°	: ٢,٧٦ جرام/سم ^٣
(ج) درجة حرارة خيط السيولة	: ٥٨٨ م°
درجة حرارة خيط الجمود	: ٥٢١ م°
الحرارة النوعية عند ١٠٠ م°	: ٠,٢٣ كالورى/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار	: ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السياسة في قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٣١٥٠	١٧٥٠	٢	٧٢١٠٠٠

(٥) الحدود الكيميائية (%) :

س	٩,٥ - ٧,٥
نح	٤ - ٣
الشوائب (حد أقصى)	ح ٢ ، ا ٠,٥ مغ ، ه ٠,٥ من
(و) النطاق الحرارى للانصهار	: ٦٤٩ - ٥٧٦٠ م
درجة حرارة السباكة	: ٦٣٥ - ٥٧٠٤ م

لو - ٦,٥ ق - ١ نح - ١ نك
(السبيكة ٢٥ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصا تحميلية ممتازة . المحامل وكراسي التحميل .
الحلب ، وصلات المواسير .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م	: ٢,٨٩ جرام/سم ^٣
(ج) درجة حرارة خط السيولة	: ٥٩٤٩ م
درجة حرارة خط الجمود	: ٥٢٢٢ م
الحرارة النوعية عند ١٠٠ م	: ٠,٢٢ كالورى/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار	: ٩٢ كالورى/جرام
(د) الخواص الميكانيكية (السباكة في قوالب دائمة) :	

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (على برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	مماسل المرونة كجم/سم ^٢
١٥٤٠	٧٠٠	١٢	٤٥	٩٨٠	٧٢١٠٠٠

(٥) الحدود الكيميائية (%) :

ق	٥,٥ - ٧
نح	٠,٧ - ١,٣
نك	٠,٧ - ١,٣
(و) النطاق الحرارى للانصهار	: ٦٤٩ - ٥٧٢٢ م
درجة حرارة السباكة	: ٦٤٩ - ٥٧٠٤ م

لو - ٥,٥ - خ - ٠,٦ - مغ - ٠,٥ - كر - ٠,٢ ق
(السيجة ٢٦ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب غراماً ميكانيكية جيدة دون حاجة إلى معالجة حرارية . المقاومة للصدمات ولتآكل الكيماويات ، قابلية التشغيل ، ثبات الأبعاد . كباصات مضخات الهواء ، أجزاء الآلات والمكينات التي تتعرض للصدمات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨١ جرام/سم^٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٧٦°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٢°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالوري/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالوري/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السيجة الرملية) :

مقاومة الشد كجم/سم ^٢	مقاومة الخضوع كجم/سم ^٢	الاستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم ^٢	معامل المرونة كجم/سم ^٢
٢٤٥٠	١٧٥٠	٥	٨٠	١٩٤٦	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

خ - ٥
سج - ٠,٦٥ - ٠,٥
كر - ٠,٦ - ٠,٤
ق - ٠,٣ - ٠,١

(و) النطاق الحراري للانصهار : ٦٧٧ - ٨٠٢°م

درجة حرارة السيالة : ٦٧٧ - ٨٠٢°م

الباب السابع

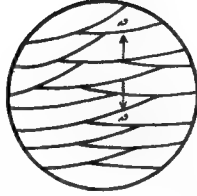
تآكل سبائك الألومنيوم ونظم الإجهادات الداخلية

يمكن القول عموماً بأن مقدار الإجهاد الذي يلزم لإحداث تصدعات مؤثرة داخل بنية المعدن يكون كبيراً ، ويتراوح بين نصف إلى ثلاثة أرباع مقدار مقاومة الخضوع للمعدن ، كما يجب أن يستمر هذا الإجهاد سلباً على المعدن لفترة زمنية كافية . وعليه فإن الإجهادات التي تتولد عن الأحمال العادية التي يجرى تطبيقها في الحياة السلية ، نادراً ما تسبب تصدع بنية المعدن . وفي أغلب الأحوال ، فإنه من المرجح أن تسبب الإجهادات الزائدة التي تتخلط عن عمليات التسقية ، والتشكيل ، والهام وشيها ، مثل هذه الظاهرة .

وعلى وجه الخصوص ، فإنه من المتفق عليه أن تدهور المعدن ينتج عن إجهادات شد ، أو على الأقل ، لإجهادات لها مركبات شد تؤثر بدرجة كافية على سطح المعدن ، حيث تتوافر مباشرة مع ظروف أكالة ، مثل هذه الإجهادات تميل كثيراً لإحداث تصدعات هدامة في بنية المعدن ، عندما تؤثر في اتجاه مستعرض مع الألياف الطولية للبنية المعدنية .

فتلاً ، في حالة المواسير المصنوعة من سبائك الألومنيوم التي تعرضت للمعاملة الحرارية ، فإن الإجهادات المستعرضة تبلغ نصف قيمة الإجهادات الطولية ، ومن ثم يحدث التآكل لتصدع بنية السبيكة نتيجة الإجهادات الطولية ، بسبب إجهادات مستعرضة أقل منه ، وفي الواقع ، فإن هذه الإجهادات المستعرضة تعمل على سحب وفصل ألياف البنية المعدنية بعيداً عن بعضها ، مما يؤدي إلى حدوث تصدعات تؤدي إلى مزيد من تدهور المعدن (كما في الشكل ١١١) ، وهذه الكيفية يتعلم وجيد أية تصدعات أو شروخ مستعرضة في بنية المعدن .

وفي كثير من المعادن التي تتعرض لهذه الإجهادات الداخلية المختلفة عن عمليات المعاملة الحرارية وأساليب التشكيل ، فإنه من الممكن إزالة هذه الإجهادات ، أو على الأقل تخفيف حدتها ، ويتم ذلك بمعاملة المعدن حرارياً بطريقة ملائمة ، حيث يجرى تسخينه إلى مادون درجة الحرارة اللازمة لإعادة تبلوره . ولكن لسوء الحظ ، فإنه عند اتخاذ هذا الإجراء لسبائك الألومنيوم التي عولمت حرارياً تفقد الخواص الميكانيكية ، وتنخفض مقاومة المعدن لموامل التآكل المختلفة لهذه السبائك ، نتيجة



شكل (١١١)

تنسحب الإجهادات الزائدة التي تختلف عن عمليات التسقية ، والتشكيل ، والهام وغيرها . في تعرض سبائك الألومنيوم لقوى شد تؤدي إلى تصدع بنية المعدن ، وفي النهاية تؤدي إلى انهيار السبيكة كلية

لرفع درجة حرارتها إلى ما دون درجة حرارة إعادة التبلور ، ولذلك فإنه في كثير من الأحيان ، يجري تشكيل هذه السبائك بعد تسقيتها مباشرة .

وعند إجراء المعاملة الحرارية لقطع من المنتجات التي لها مقاطع مستعرضة كبيرة ، فإنه يتحم تسقيتها سريعاً ، في ماء بارد ، حتى تكتسب أقصى مقاومة للتآكل ، ولكن ذلك يؤدي - من ناحية أخرى - إلى تخلف إجهادات حادة بها .

وقد وجد عملياً أنه في حالة بعض المشغولات كبيرة الحجم ، يفضل لبعض سبائك الألومنيوم ، أن تتم عملية التسقية في ماء يغلي حتى يتلافى خلق الإجهادات الحادة التي من شأنها أن تؤدي إلى تصدع بنية السبيكة وتدهورها .

العامل الكهروكيميائي :

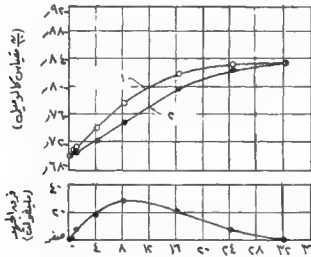
يمكن توضيح أهمية العلاقات الكهروكيميائية التي تنشأ داخل التركيب البنياني للفلز أو السبيكة ، باعتبار تأثير المعاملات الحرارية على قابلية سبيكة من الألومنيوم والنحاس للتصدع ، نتيجة للإجهادات الناشئة وتأثيرها على تآكل هذه السبيكة .

وفي سبيكة من الألومنيوم والنحاس تحتوي على ٤٪ من النحاس ، يتغير فرق الجهد القطبي للسبيكة من حوالي - ٨٤٠ فولت إلى - ٦٩٠ فولت ، نتيجة لتكوين مكونات هذه السبيكة في محلول ميتالورجي متجانس من الألومنيوم والنحاس .

ومن الممكن إجراء التمثيل الإنشائي اصطناعياً عند درجة حرارة ١٩٠°م ، وبذلك ترسب أصناف (أطوار) جديدة من المحلول المتجانس ، مما يرفع من قيمة الجهد القطبي للسبيكة أو على الأقل يغيرها .

ومن الممكن قياس الجهد عند الحدود الحبيبية وفي مراكز الحبيبات البلورية ، وبين الشكل (١١٢) تثير الجهد القطبي عند الحدود الحبيبية ، وفي مراكز الحبيبات على امتداد الفترة الزمنية

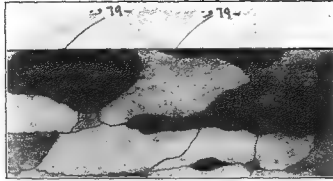
للتحقق تحت ٥١٩٠ م ، مما ينشأ عنه ترسب بعض الأصناف الجديدة على الحدود الحبيبية ، بسرعة أكبر من ترسب هذه الأصناف داخل الحبيبات نفسها ، ومن ثم تصبح حدود الحبيبات أكثر أنودية (أكثر إيجابية للشحنة الكهربائية) عن مراكز الحبيبات . وباستمرار عملية التفتيق ، نصل إلى أقصى فرق في الجهد بين حدود الحبيبات ومراكزها ، كما يتضح من المنحنى على الرسم البياني الأسفل ، بعد تفتيق هذه السبيكة لمدة ٨ أو ٩ ساعات عند هذه الدرجة من الحرارة (٥١٩٠ م) . ويمتد هذه الفترة ، يبدأ الترسب داخل مراكز الحبيبات ، بنفس المعدل الذي يحدث به على طول حدود الحبيبات . ويتسبب السبيكة لمدة ٣٢ ساعة (تقريباً) ، يفترض إتمام الترسب بالكامل سواء داخل الحبيبات أو على حدودها . ومن ثم ينخفض الفرق في الجهد القضي بينهما عملياً إلى الصفر تقريباً .



شكل (١١٤)

تغير الجهد القضي عند الحدود الحبيبية وفي مراكز الحبيبات بمرور الوقت عند ٥١٩٠ م
١ - الحدود بين الحبيبات ٢ - مركز الحبيبات

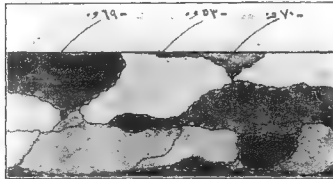
وتوضح الرسوم التوضيحية في الأشكال (١١٣ ، ١١٤ ، ١١٥ ، ١١٦) التغيرات التي تطرأ على التركيب البنائي للسبيكة ، ومن ثم تؤثر على الجهد القضي له . ويوضح الشكل (١١٣) محلولاً ميثالورجياً متجانساً من النحاس والألومنيوم ، تكون نتيجة تسقية سريعة ، تبينها معاملة حرارية لإذابة المكونات والأصناف (الأطوار) المختلفة في محلول متجانس ، ويبلغ الجهد القضي - ٠.٦٩ فولت سواء داخل الحبيبات البلورية ، أو على حدودها .



شكل (١١٣)

رسم توضيحي للبنان المجهرى لسبكة من الألومنيوم والنحاس (٤ % نحاس) .
ويبين الرسم التوزيع المنتظم المحلول الجامد بعد إجراء عملية تسقية سريعة فور تذاب المكونات
في محلول متجانس ، ومن ثم نرى أن الجهد القطبي داخل الحبيبات يساوى تماماً الجهد القطبي
للحدود بين الحبيبات

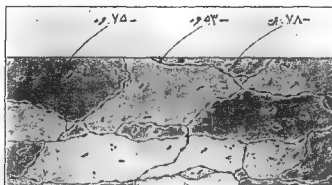
ويوضح الشكل (١١٤) بداية الترسيب خلال الساعات الأولى للتسخين إلى ٥١٩٠م على طول
الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، ونتيجة لذلك لم يتغير الجهد القطبي للحبيبات بصورة ملحوظة ، بينما
أصبح الجهد القطبي للأصناف الجديدة المترسبة على الحدود بين الحبيبات أكثر أنودية (أكثر
إيجابية) حيث يبلغ - ٠,٥٣ فولت .



شكل (١١٤)

نفس الشبكة كما في الشكل السابق (١١٣) ، بعد تعريضها لفترة تسخين قصيرة ، مما نجم عنه
بدء ترسيب صنف (طور) جديد على الحدود بين الحبيبات . يحيط بكل جسم من الصنف
الترسيب بعض المحلول الجامد أكثر أنودية من المتبقى

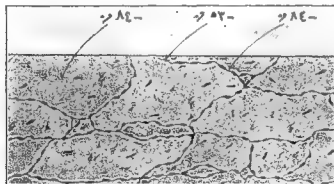
وبين الشكل (١١٥) الحالة التي توجد عليها الحبيبات البلورية عند بلوغها أقصى فرق في الجهد القطبي بين مراكزها وحدودها . وعند هذه المرحلة ، تكون الأصناف الأكثر أنودية (أكثر إيجابية) التي ترسبت على طول الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، جهة متصلة من صنف أكثر أنودية عن الحبيبات ذاتها وفي هذه الحالة تبنى السبكة ميلا ملموسا لتآكل بين حبيباتها البلورية ، ومن ثم انهيارها .



شكل (١١٥)

نفس السبكة كما في الشكل (١١٣) بعد تعرضها لفترة تسخين كافية أدت إلى بلوغ الفرق بين الجهدين القطبيين داخل الحبيبات وعلى الحدود بينها قيمته العظمى

ويوضح الشكل (١١٦) التركيب البنائي للسبكة بعد استكمال ترسب الأصناف الجديدة خلال حبيباتها البلورية وعلى حدودها الفاصلة . في هذه الحالة ، لا يوجد أي اختلاف ملموس في فرق



شكل (١١٦)

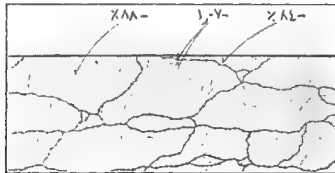
نفس السبكة كما في الشكل (١١٣) بعد تعرضها لفترة تسخين طويلة أدت إلى إتمام عملية الترسب ، ومن ثم أصبح الجهد القطبي في مركز الحبيبات مساويا للجهد القطبي على الحدود بينها ، وكلاهما أكثر أنودية من الجهد القطبي لقياسات الترسبة .

الجهود بين الحدود الفاصلة للحبيبات والحبيبات نفسها ، ومن ثم تقل حدة التآكل إلى حد بعيد ، لدرجة يمكن معها إهماله . ولكن إذا وضعت السبيكة بصورتها الراحة في محلول الكتروليتي ، فإن التآكل سوف ينشأ بين المكونات وبين المعدن الأساسي .

ويطلى الجدول (هـ) عدداً من قيم الجهود القطبية التي تكثر الحاجة إليها عملياً ، في حالة سبائك الألومنيوم التجارية . ويلاحظ أن إضافة المنجنيز أو المنغنسيوم والسيليكون ، بنسبة وجودها في المركب الكيميائي مع γ س ، لا يغير كثيراً من الجهود القطبية للسبيكة . فبينما يعمل النحاس في المحلول الجامد على خفض قيمة الجهود القطبية ، يعمل كل من المنغنسيوم والزنك في المحلول الجامد على رفعه .

وفي سبائك الألومنيوم والمنغنسيوم ، التي تحتوي على كمية من المنغنسيوم ، تتعدى حد ذاتيته العظمى ، يصبح المكون الذي يحتوي على الألومنيوم والمنغنسيوم أنوديّاً (بمثابة قطب موجب) بالنسبة إلى المحلول الجامد المتكون من الألومنيوم والمنغنسيوم .

وتحت بعض الظروف الخاصة ، قد ينشأ الترس بصورة متصلة في بعض المناطق ، سواء على الحدود الفاصلة بين الحبيبات أو خلال مستويات الانزلاق التي نشأت خلال تشوه لدن تعرضت له السبيكة . وإذا وجدت ظروف مواتية ، فإن نوعاً من التآكل سوف ينشأ خلال الجسيمات المترسبة ، وفي وجود إجهادات شد مؤثرة عند سطح السبيكة ، فإن بنية المعدن سوف يتعرض للانهار والتمار ، نتيجة لصدوع ونشوء نشأت بفعل هذا التآكل ، ويبين الشكل (١١٧) رسماً توضيحياً لما يحدث للبنان الدقيق السبيكة .



شكل (١١٧)

رسم توضيحي للبنان المجهري لسبيكة من الألومنيوم والمنغنسيوم (١٠٪ منغنسيوم) تمت درفلتها على البارد . توجد المناطق المتصلة من الجسيمات الانودية التي ترسبت على الحدود بين الحبيبات ومستويات الانزلاق .

ولقد تأكدت أهمية العلاقات الكهروكيميائية في مجال ميكانيكية تآكل المعادن نتيجة لتأثير الإجهادات المختلفة ، إذ أمكن بتوصيل تيار كهربائي كاثودي ، منح انحناء سبيكة في محلول ، حيث تتمرض لإجهادات تآكل فعالة .

جدول (٥)

بين الجهود القطبية للمعادن الجاهزة للألومنيوم ، ومكوناته

المحلل الجاهز أو المكون	الجهود ، بالفولت • ١٠٠٠ ميارى مقياس كالويل
α (لو - مغ)	- ١,٥٧
β (خ - مغ)	- ١,٥٤
لو ٤٪ خ	- ١,٥٢
لو ١٪ خ	- ٠,٩٦
لو ٤٪ مغ	- ٠,٨٧
α (لو - من)	- ٠,٨٥
ألومنيوم	- ٠,٨٤
لو + مغ + س (١٪ مغ س) محلول جامد	- ٠,٨٣
لو ١٪ س	- ٠,٨١
لو ٤٪ نخ	- ٠,٦٩
α (لو - ح)	- ٠,٥٦
حديد	- ٠,٥٥
لو - نخ (نخ لو س)	- ٠,٥٣
سيليكون	- ٠,٢٦
نحاس	- ٠,٢٥

• قيس هذه الجهود القطبية في محلول مائي يتألف من ٥٣ جرام من كلوريد الصوديوم + ٣ جرام من يدب أ (فوق أكسيد الهيدروجين) لكل لتر .

عوامل أخرى تؤثر على تآكل المعدن :

فيما سبق ، تم شرح كيفية نشوء مناطق موضعية ذوات جهود قطبية أكثر أنودية من مواقع أخرى في بنية السبيكة ، نتيجة لترسب مكونات وأصناف جديدة على الحدود الفاصلة بين الحبيبات البلورية للسبيكة ، ومن ثم تؤدي إلى تدهور وانهايار بنية المعدن . ولكن أثبتت الخبرة العملية والمعملية ، أن ترسب أصناف جديدة لا يكون دائماً السبب الوحيد لتدهور بنية المعدن ، ولكن ثمة مكونات أخرى غير معروفة حتى الآن ، يجرى ترسيبها ، وتؤثر هي الأخرى بشكل أو بآخر ، وتؤدي في النهاية إلى تدهور بنية المعدن . كما أنه من الممكن افتراض نشوء مناطق على الحدود الفاصلة بين الحبيبات تمانى من إجهادات مفردة ، نتيجة عدم انتظام البلورات بها ، مما يؤدي في النهاية إلى خلق فروق في الجهود القطبية بينها وبين كتلة الحبيبات كسكل . من ناحية أخرى ، يجب أن يؤخذ في الاعتبار التنبر الحجمي الذي يطرأ على المكونات المترابكة على الحدود الفاصلة بين الحبيبات عند ترسب أصناف جديدة ، الأمر الذي يؤدي بدوره إلى خلق إجهادات إضافية تساعد على إحداث التآكل .

تآكل سبائك الألومنيوم :

أكثر سبائك الألومنيوم عرضة للتآكل نتيجة للإجهادات المختلفة ، تلك السبائك التي تحتوي على عناصر تسم بذاتية كبيرة في الحالة الصلبة عند درجات الحرارة العالية ، ولكن يقل تداورها في الألومنيوم عند درجات الحرارة المعتادة ، مما ينجم عنه ترسب الفائض منها بشكل أو بآخر ، فيضطرب الانساق البلوري للسبيكة ، وتتولد إجهادات تعمل على تآكل بنية السبيكة ، من هذه العناصر ، النحاس ، والمغنسيوم ، والزنك .

وفي مثل هذه السبائك ، يتأثر التركيب البنياني لها إلى حد بعيد ، بعمليات المعاملة الحرارية ، ومعدل التبريد أثناء التسخين ، والتمتعين سواء كان طبيعياً أو اصطناعياً . وفي بعض سبائك الألومنيوم ، خاصة سبائك الألومنيوم والنحاس ، يتوقف تأثير التحقن الاصطناعي على إجراء التسخين السابقة . وليس للتمتعين الطبيعي أى تأثير يذكر على قابلية سبائك الألومنيوم والنحاس للتآكل نتيجة للإجهادات المتولدة ، لكن تأثيره على قابلية سبائك الألومنيوم والمغنسيوم المطروقة (القابلة لتشكيل) ليس هيناً ، لا سيما إذا احتوت هذه السبائك على أكثر من ٤.٥٪ من وزنها من المغنسيوم . ويلزم هذه المبهمة ، فترة طويلة قد تبلغ شهوراً ، بل قد تصل إلى بضعة سنين ، قبل أن ترسب بعض المكونات بالقدر الذي يؤدي إلى خلق إجهادات محسوسة وفعالة ، تزيد من تعرض المعدن للتآكل والانهيار . ولذلك فإن كثيراً من المطويات المتوافرة عن سبائك الألومنيوم والمغنسيوم ، تكون مشوشة ، ولا يمكن التمويل عليها بصورة قاطنة

من ناحية أخرى ، قد يؤدي سلوك السبيكة خلال تعرضها لتقشور لدن ، إلى التحميل بترسب موضعي لبعض المكونات ، كما قد يؤدي أيضاً إلى توزيع الإجهادات المختلفة ، ومن ثم انتظامها .

ومن المستصوب تناول مختلف أنواع السبائك الألومنيومية بالمناقشة والتمحيص ، فيما يخص بضررها وتقبلها لظاهرة التآكل نتيجة الإجهادات المختلفة ، مع تقصي الأسباب التي تؤدي إلى ذلك .

الألومنيوم : لا يتعرض الألومنيوم للنق ، أو النق تجارياً ، لتآكل نتيجة إجهادات داخلية . ولكن بالرغم من ذلك ، فإن الألومنيوم عالي النقاة الذي يحتوي على ٩٩,٥٪ من الألومنيوم على الأقل ، يبدى ميلا لتآكل داخل حبيباته البلورية في وسط من حمض الهيدروكلوريك تحت ظروف من المعاملة الحرارية ، حيث يؤدي كل ذلك إلى أنودية (التحول إلى جهد أعلى) الحدود الفاصلة بين الحبيبات البلورية للألومنيوم في وجود هذا الحمض . ولأسف ليست هناك تعليقات وافية ، أو تفسيرات شافية لهذه الظاهرة .

سبائك الألومنيوم - المنجنيز : للمنجنيز ذاتية منخفضة في الألومنيوم الفلزى ، في الحالة الصلبة . ولكونات الألومنيوم والمنجنيز نفس الجهد القطبي للألومنيوم المنصرى تقريباً ، وعليه فلا يخفى على هذه المجموعة من السبائك من تعرضها لتآكل نتيجة للإجهادات الداخلية .

سبائك الألومنيوم - السيليكون : السيليكون ذاتية منخفضة نسبياً في الألومنيوم الفلزى في الحالة الصلبة . كما أن معدل ترسب الأصناف الجديدة في هذه المجموعة من السبائك ، يكون بطيئاً للغاية ، ويمكن إهماله . ويعتبر المكون السيليكوني بالنسبة للألومنيوم بمثابة مهبط ، ولكن للألومنيوم والمهلول الجامد للألومنيوم والسيليكون جهدين قطبيين متساويين تقريباً . وتستخدم سبائك الألومنيوم والسيليكون بكثرة في أغراض صناعة المسبوكات عنها في أغراض التشكيل ، ولكن لم تلاحظ أي نزعة لهذه السبائك لتآكل نتيجة إجهادات داخلية بها .

سبائك الألومنيوم - المغنسيوم : تبلغ ذاتية المغنسيوم في الألومنيوم الفلزى عند درجة حرارة اليوتكتي حوالي ١٥٪ ، ولكن لا تزيد الذاتية عند درجة الحرارة المتتادة على ٢٪ . ويعتبر مكون الألومنيوم المغنسيوم أكثر أنودية مقارناً بكل من الألومنيوم الفلزى والمهلول الجامد للألومنيوم والمغنسيوم . والسبائك الثنائية التي تحتوي على أكثر من ٤,٥٪ من المغنسيوم نزعة واضحة للتآكل ، نتيجة تخلف إجهادات داخلية بها ، خاصة بعد تشغيل هذه السبائك على البارد . ويمكن الحصول على نتائج طيبة بإضافة مشطات لتآكل كالممنجنيز والكروم لتزيل الإجهادات الداخلية التي تعاني منها البنية البلورية للسيكة .

سبائك الألومنيوم - المغنسيوم - السيليكون : عند وجود عنصرى المغنسيوم والسيليكون في سبائك الألومنيوم المغيدة للأغراض التجارية بنسبة وجودها في المركب مع ٣ س (سيليبيد المغنسيوم) لا يتأثر الجهد القطبي للسيكة عند تعرضها لمديد من عمليات المعاملة الحرارية . ولذلك فإن لمديد من سبائك الألومنيوم التشكيلية ، التي تحتوي على عنصرى المغنسيوم والسيليكون بنسبة وجودها في المركب مع ٣ س أهمية خاصة لمقاومتها الجيدة للتآكل .

سبائك الألومنيوم - السيليكون - المغنسيوم : هناك مجموعة هامة من سبائك الألومنيوم انفاصة بالمسبوكات تحتوي على ٥ - ٧٪ من السيليكون ، وحول ٥-١٠٪ من المغنسيوم ، وتتميز هذه المجموعة من السبائك بمقاومة عالية للتآكل ، كما لم يلاحظ أى ميل لها لإحداث إجهادات داخلية بها . وبإضافة حوالي ١٠٪ من النحاس إلى هذه السبائك ، تزداد مقاومة الشد لها ، ولكن ذلك يكون على حساب مقاومتها للتآكل ، فتتخفف قليلا .

سبائك الألومنيوم - النحاس - تناولنا فيما سبق ، دراسة سبائك الألومنيوم والنحاس ، وهذا القسم من السبائك لا تتأثر مقاومته للتآكل إذا جرت تسقيته سريعا ، أو إذا تعرض لإزمان طيبي . لكن مقاومة هذه المجموعة من السبائك للتآكل ، تقل كثيرا إذا ما أُجيد تسخينها ، أو عتقت اصطناعيا ، بهدف الحصول على أقصى متانة ممكنة .

سبائك الألومنيوم - النحاس - المغنسيوم : عموما ، يمكن القول بأن مسلك هذه المجموعة من السبائك يشبه إلى حد بعيد ، مسلك سبائك الألومنيوم - النحاس ، فيها خلا تأثير عنصر المغنسيوم على الخواص المميزة لها عند التعتيق لإزمانيا . ومن ثم فإن مقاومتها للتآكل لا تتأثر بتريدها سريعا ، ولكن تقل هذه المقاومة عند إعادة تسخينها .

سبائك الألومنيوم - النحاس - المغنسيوم - السيليكون : في هذه المجموعة من السبائك ، يعمل عنصر السيليكون الموجود بكمية تفيض عن وجوده لتكوين المركب (Mg_2Si) ، على سرعة استجابتها للعتيق الاصطناعي . وتسقية هذه السبائك سريعا ، لا تتأثر مقاومتها للتآكل . ولكن عند تسقيتها ببطء ، ثم تعريضها للعتيق الطيبي ، أو تسقيتها سريعا ، ثم تعريضها للعتيق الاصطناعي ، فإن مقاومتها للتآكل تقل كثيرا .

سبائك الألومنيوم - الزنك : لهذه المجموعة من السبائك قابلية ملحوظة للتآكل ، وقد عرفت نقطة الضعف هذه في وقت مبكر ، ويمزى ذلك إلى الذاتية الكبيرة لعنصر الزنك في الألومنيوم لتكون مكوناتها ، هذه المكونات تكون بمثابة أنيد بالنسبة لفلز الألومنيوم النقي ، وعليه يحدث التآكل . ولهذا السبب فليست لسبائك الألومنيوم الفنية بالزنك أهمية تجارية تذكر .

سبائك الألومنيوم - الزنك - المغنسيوم : تنتم هذه السبائك مع غيرها من الإضافات الأخرى بمثابة كبيرة ، تجعلها صالحة للاستعمال بالعديد من المهام في الحياة العملية . ومع ذلك فقد جرى تطوير هذه السبائك في أخير الحدود لزيادة مقاومتها للتآكل والتصدع . وفي السنوات الأخيرة المتصرمة ، جرى تطوير هذه السبائك ميتالورجيا بالتحكم والاعتيار الصممين لمكونات الزنك والمغنسيوم ، إلى جانب بعض الإضافات من النحاس وغيره من المواد المشبعة للتآكل كالكروم ، مما أدى إلى تحسين مقاومتها للتآكل لدرجة كبيرة .

الباب الثامن

ميتالورجيا مساحيق الألومنيوم

ميتالورجيا المساحيق ، هو فن إنتاج مساحيق الفلزات ، ثم الاستفادة بها في صناعة أشياء نافعة من أجهزة وأدوات معدنية يمكن استخدامها .

وبتطبيق هذه الطريقة المستحدثة ، يمكن الحصول على منتجات جاهزة وشكلية من مسحوق أحد الفلزات الثقية ، أو من خلوط لمساحيق عدد من الفلزات ، بواسطة الكبس ثم التلييد ، دون المرور بمرحلة الصهر ، ثم تشكيل الفلز المنصهر .

وليتالورجيا المساحيق ميزة خاصة ، إذ يمكن بواسطتها إنتاج مواد تتألف من عدد من الفلزات أو سبائكها ، التي لا تتسبك إطلاقاً مع بعضها بعضاً ، وهي في حالة الانصهار ، فتلا يمكن الحصول على قاطعات التلاس في الأغراض الكهربائية من التنجستن الصلب الذي يقاوم التآكل ، ومن الفضة اللينة ذات الموصلة الكهربائية العالية . وتشبه هذه العملية في جوهرها تكنولوجيا صناعة السيراميك ، لذلك يطلق أحياناً على منتجات ميتالورجيا المساحيق اسم « السيراميك الفلزي » .

ومن الممكن ، بكبس وتلييد مخاليط المساحيق المعدنية مع مساحيق المواد غير المعدنية كالأستيسوس ، والميسكا ، وأكاسيد المعادن ، الحصول على مواد احتكاكية من السيراميك الفلزي ذات عوامل احتكاك كبيرة ، وتستخدم في صناعة القابضات القرصية ، وأحذية الفرامل .

وبواسطة ميتالورجيا المساحيق ، أمكن حل مشاكل الإنتاج الصناعي لقطع المدة من المعادن المقاومة للانصهار ، التي تزيد درجة حرارتها على 2000°C ، وفي الوقت الراهن تصنع معدات القص العالية الإنتاجية على أساس كربيدات مقاومة للانصهار ، لها صلادة عالية ، وباستخدام مركبات كيميائية تقاوم الانصهار ، وتضمد أمام درجات الحرارة العالية ، تمت صناعة المواد للإنصهار والحرارة التي تستخدم بكثرة في تجهيز التوربينات وفي الطاقة الذرية .

وباستخدام الأكاسيد الدقيقة الطحن كأحد مركبات شحنة المساحيق ، أمكن الحصول على مواد جديدة متينة ومقاومة لحرارة أساسها الألومنيوم والحديد والنيكل وغيرها من الفلزات الأخرى .

ولقد كان لاستخدام ميتالورجيا المساحيق في صناعة مختلف المنتجات حسناً كثيرة ، منها الاقتصاد في المهدن المستخدم ، وخفض تكاليف المنتجات الجاهزة إلى حد بعيد .

وبالحصول على منتجات من الألومنيوم التي أو من سبائكها ، بتطبيق ميتالورجيا المساحيق ، يلزم الآتي :

- الحصول على مسحوق الألومنيوم أو مسحوق سبائك .
 - كبس المساحيق الحصول على منتجات نصف جاهزة تباً للشكل والأبعاد المطلوبة .
 - تليد القطع المكبوجة الحصول على متانة أكبر ، وغواص فريقتة وكيميائية مينة .
- ومن ثم يمكن الحصول على منتجات مشكلة من مسحوق الألومنيوم أو سبائك ، لاستخدامها في أغراض عديدة ، حربية ومدنية .

طرق الحصول على مسحوق الألومنيوم وسبائك :

عموماً ، توجد طرق متعددة للحصول على مسحوق للألومنيوم أو لسبائك ، وتنقسم هذه الطرق إلى طرق ميكانيكية وطرق كيميائية . ولكن أكثر الطرق شيوعاً في حالة الألومنيوم ، هي الطرق الميكانيكية ، إذ أن تطبيق الطرق الكيميائية يستلزم استمدادات وتجهيزات معينة ، بالإضافة إلى تكاليفها الباهظة ، ويرجع ذلك إلى فعالية الألومنيوم ونشاطه كيميائياً ، خاصة زعته القوية للتأكسد والاتحاد بقوة بكثير من العناصر الأخرى خاصة غاز الأكسجين .

وبن أكثر الطرق الميكانيكية استخداماً للحصول على مسحوق الألومنيوم ، ما يلي :

١ - سحق قطع الألومنيوم في طواحين مناسبة ، كالمطحونة الدوامة .

٢ - تحبيب الألومنيوم المنصهر .

٣ - طريقة التفريضة .

٤ - طريقة الأقراص .

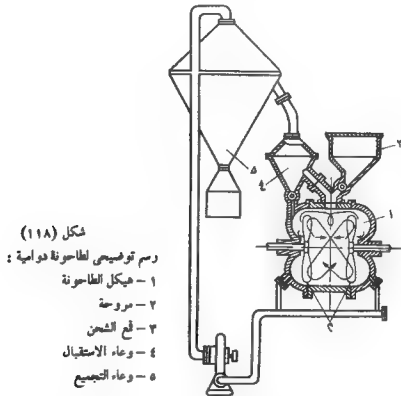
١ - سحق الألومنيوم في طاحونة دوامة :

تركب الطاحونة الدوامة (كما في الشكل رقم ١١٨) من هيكل معدني يبطن بصلب يقاوم التآكل ، وتندور داخلها مروحتان في اتجاهين متضادين بسرعة تصل إلى ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة ، فتتكون داخل الطاحونة تيارات هوائية على هيئة دوامات عنيفة ، ويشحن الألومنيوم في شكل أسلاك مفصولة أو قطع صغيرة ، في قم الشحن ، حيث تنجذب قطع الألومنيوم بواسطة الدوامات الهوائية ، ويصطدم بعضها ببعض ، ونتيجة لتصادم المتواصل ، ينسحق الألومنيوم (أو سبائك) إلى رقائق صغيرة تتراوح أبعادها بين ٥٠ ، ٢٠٠ ميكرون . ومن ناحية أخرى ، تعمل تيارات الهواء المتدفقة على حمل حبيبات المهدن إلى وعاء الاستقبال ، حيث تترسب الحبيبات للكثيرة في القاع وتعاد ثانية لمسحها مرة أخرى إلى الأبعاد المطلوبة ، أما الحبيبات الدقيقة ، فتتجه إلى خزان خاص لتجميعها .

وطل مشاكل ارتفاع درجة الحرارة داخل الطاحونة ، وما يصاحب ذلك من مشاكل خاصة ، تعرض حبيبات الألومنيوم للتأكسد نتيجة لعمليات السحق السريعة ، يمرر تيار من الماء

بفرض التجريد حول جسم الطاحونة . وقد يستدعى الأمر في بعض الأحيان ، إمرار تيار من غاز حامل في غزان التجميع .

وتستخدم الطاحونة الدوامة بكفاءة عالية لسحق سبائك الألومنيوم القصيفة . ومن أهم مميزات استخدام الطاحونة الدوامة في الصناعة الحصول على مسحوق الألومنيوم وسبائكها ، ما يتشع به المسحوق الناتج من نقارة عالية ، إذ أن الأجسام الطاحنة هي نفس القطع التي يراد سحقها ، كما تتميز المساحيق المنتجة في هذه الطاحونة ، بتأيلتها الجيدة للكبس والتلييد .

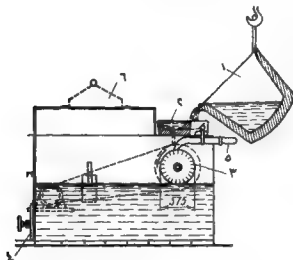


٢- تجميع الألومنيوم المنصهر :

تتلخص عملية الحصول على مسحوق الألومنيوم بواسطة تجميع الفلز المنصهر ، في صب المنصهر عند درجة حرارة أقل قليلاً من نقطة انصهاره ، على هيئة تيار رفيع إلى الماء .

ويبين الشكل رقم (١١٩) رسماً توضيحياً للطريقة ، حيث يصب منصهر الألومنيوم من البوقلة إلى مجرى خاص ، ليندفع على سير متصل يتحرك بسرعة بالاستماتة بموتور كهربائي ،

وتتسبب حركة السير السريعة في تقطيع تيار الألومنيوم المنصهر الرفع ، ويحفظ على هيئة قطرات دقيقة الحجم في حوض به ماء ، فتتجمد القطرات سريعاً مكونة مسحوقاً . يمد ذلك يحفظ هذا المسحوق ثم ينخل .



شكل (١١٩) رسم توضيحي لوحدة تعبئة الألومنيوم المنصهر

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| ١ - بودقة بها مصهور الألومنيوم | ٢ - قناة استقبال الألومنيوم المنصهر |
| ٣ - سير متصل | ٤ - فتحة التفريغ |
| ٥ - فتحة التزويد بالماء | ٦ - غطاء |

٣ - طريقة التلوية :

لإنتاج مسحوق الألومنيوم بطريقة التلوية ، يصر الألومنيوم ، وترفع درجة حرارته لدرجة أعلى من نقطة انصهاره ، ثم يصب المصهور في وعاء من الصلب مبطن بمادة عازلة للحرارة ، به فتحة جانبية قرب القاع ، تتركب عليها فتحة التلوية . ويفتح صمام للهواء المضغوط حول الفتحة ، مع إمرار الألومنيوم المنصهر خلال الفتحة الجانبية ، فيتدفق الألومنيوم رذاذاً ، ويتجمد إلى مسحوق دقيق .

٤ - طريقة الأفراس :

في هذه الطريقة ، يصر الألومنيوم ثم يصب فوق قرص يدور بسرعة عالية ، ويوجد أسفله حوض به ماء بارد ، ومعلقة قطرات الألومنيوم لسطح القرص الدوار ، يتناثر المصهور بفعل القوة الطاردة المركزية على شكل شرائح وشظايا رقيقة ، تجمع وتضمن في طواحين مناسبة لسمكها .

تكنولوجيا كبس المساحيق :

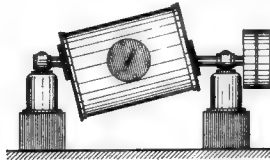
يتم إنتاج المواد وقطع المساحيق المعدنية على مراحل عدة مثل الكبس والتلبيد والمعالجات الإضافية وغير ذلك . وأهم هذه العمليات هي عمليات الكبس والتلبيد .

ويقصد بعملية كبس المساحيق ، العملية التي نحصل بواسطتها من مسحوق المدفوع على جسمتين نسبياً (قطع نصف مشكلة وقالب وغيرها) له أبعاد مطابقة لأشكال وأبعاد المنتجات الجاهزة .
وسنرى عملية الكبس على الوجه الأمل ، يجب أن تعد الشحنة من المساحيق إعداداً خاصاً ، ثم تقدر بعد ذلك الكمية المطلوبة منها ، وتضمن في قالب الكبس ، وتجري بعد ذلك عملية الكبس .
وتعتبر عملية إعداد الشحنة ، وغلط المساحيق ، من أهم العمليات في إنتاج المنتجات ذات التركيب المعقد ، وغالباً ما يؤثر إعداد الشحنة على الخواص النهائية للمنتجات الجاهزة .

وتعرض المساحيق لعملية تخمير لتلاينها ، حتى يمكن التخلص من التصلد الناتج عن التشغيل على البارد ، ولتقليل التأكد ، وكذلك لتحصين تجانس الخواص الفيزيائية والكيميائية للمساحيق السيكية . ويؤدي التلدين عادة عند درجات حرارة عالية إلى تكبير حجم الجسيمات والحبيبات نتيجة لتلاينها جزئياً . لذلك فإنه من المستصوب إجراء عمليات تلدين وتفتيت متكررة عند درجات حرارة منخفضة للتخلص من التصلد الناتج عن التفتيت .

وغلط المساحيق ، تستخدم طواحين الكور ، أو الخلطات الهوائية ، أو الخلطات المتأرجحة .

وأكثر معدات الخلط المستخدمة في الصناعة ، هي الخلطات المتأرجحة والخلطات الهوائية . ويوضح الشكل رقم (١٢٠) رسماً تخطيطياً لخلط متأرجح ، وهو يتكون من هيكل أسطواني له محور دوران غير متمركز كما في الشكل ، وعند دوران الخلط بعد شحنة حول محور غير المتمركز ، ينشأ احتكاك شديد بين جسيمات المساحيق نتيجة لتقادفها وتداخها بفعل القوة الطاردة المركزية ، ونتيجة لسقوطها على بعضها لدورانها حول محور لا متمركز ، وبذلك تتم عملية الخلط.



شكل (١٢٠) خلط متأرجح

١ - وتم تعبئة براميل الخلاطات على مختلف أنواعها بشحنات من المساحيق ، لا تزيد على ٣٠ - ٤٠ ٪ من سعة الرميل . ويلود الجسم الأسطواني بسرعة تتراوح بين ٤٠ ، ٦٠ دورة في الدقيقة . ويتوقف زمن الخلط على طبيعة مركبات المخلوط وعلى نوع عملية الخلط .

ومن الممكن أن يكون الخلط جافاً أو مبتلاً ، ولكن ثبت عملياً بالتجربة أنه عند إعداد شحنة من مساحيق متفاوتة في وزنها النوعي - بشكل ملحوظ - ، فإن المساحيق الجافة لا يتجانس خلطها حتى لو استغرقت عملية الخلط مدة طويلة ، لذلك تكون المنتجات المصنوعة من هذه الشحنات غير متجانسة في التركيب الكيميائي ، مما يقلل من خواصها الميكانيكية والكيميائية الفيزيائية .

ويستخدم الكحول الأبيض أو البزير أو المياه المقطرة ، أو الجليسين أو ما شابه ذلك ، كوسط سائل يوضع مع المساحيق في الخلاطات . ويحقق الخلط المبتل ، الحصول على مخاليط أدق وأكثر تجانساً في توزيعها .

وفي بعض الحالات ، يجري تجنب المساحيق ، بتجميع جسيماتها المتناهية الصغر في تجميعات بأشاليب مناسبة ، حتى تزداد سيوبتها عند شحن قوالب الكبس ، وتضمن قابلية القطع لتشكيل عند كبسها .

ولتحقيق هذا الغرض ، تضاف مواد لاصقة عند تجنب المساحيق المدة للكبس ، وتعمل هذه المواد كزلاقات لجسيمات الشحنة ، فتسبل أزلاقها بالنسبة لبعضها بعضاً عند الكبس . فضلاً عن ذلك فإن هذه المواد اللاصقة دوراً آخر لا يقل أهمية ، فهي تعمل على زيادة التصاق الحبيبات بعضها إلى بعض خاصة عند الكبس ، مما يزيد كثيراً من متانة المكبوسات ، ويحقق حفظ شكل وجودة القطع اللازمة للعمليات التالية ، وبالطبع يجب أن تخضع هذه المواد اللاصقة لمواصفات خاصة ، حتى يمكن الوثاء بمهامها ، فيجب أن تتشح بسهولة كافية ، وتكون لها خاصية الانتشار السريع على أسطح جسيمات المسحوق عند الخلط . وفي نفس الوقت ، تعمل على حفظ شكل القطع نصف المشكلة عند العمليات التالية ، كما يجب ألا تتفاعل المادة المضافة مع مركبات الشحنة وألا تكون قابلة للانفجار .

طرق كبس مساحيق الألومنيوم وسبائكها :

يتم كبس المساحيق بطرق متعددة أهمها :

- ١ - الكبس في اتجاه واحد .
- ٢ - الكبس من الطرفين .
- ٣ - كبس الأشكال 'لمقدمة
- ٤ - الكبس الهيدروستاتيكي .

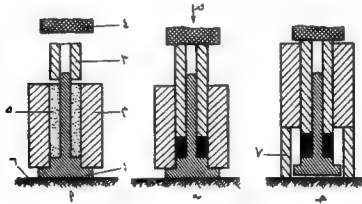
٥ - درفلة أو طرق المساحيق في أغلفة على الساخن

٦ - درفلة المساحيق إلى شرائط .

٧ - كيس المساحيق بالحقن إلى أسلاك أو مواسير .

١ - الكيس في اتجاه واحد :

يستخدم الكيس في اتجاه واحد ، لإعداد المنتجات بسيطة الشكل ، عندما لا يزيد طول (أو ارتفاع) المنتج عن ضعف قطره (أو سمكه أو عرضه) ، مثل كيس الجلب السمكة ، وقطع التلاس الكهربائي . وبين الشكل (١٢١) رسماً توضيحياً لطريقة الكيس في اتجاه واحد . وفي هذه الطريقة يتم شحن المسحوق (أو خليط المساحيق) في قالب الكيس ، الشكل (أ) ، ثم تبدأ عملية الكيس بالضغط على الكيس ، وتحويله إلى منتج جاهز ، أو إلى قطعة نصف مشكلة كما في الشكل (ب) ، ثم يزاح الثقل بعد ذلك ، ويوضع قالب الكيس على حلقة خاصة ، ثم يضغط ثانية على الكيس الذي يخرج القطعة المكبسة من قالب الكيس ، كما في الشكل (ج) . ويصعب طريقة الكيس في اتجاه واحد ، عدم تجانس كثافة المكبسات طولياً ، لذلك لا تصلح هذه الطريقة لكيس القطع الطويلة .



شكل (١٢١) رسم توضيحي يبين كيس مسحوق الألومنيوم في اتجاه واحد

(ب) كيس المسحوق إلى قطع

(١) شحن المسحوق ووضع الكيس

(٢) تقطيع القطع المنتجة من الكيس

٣ - كيس ٤ - دافعة المكبس

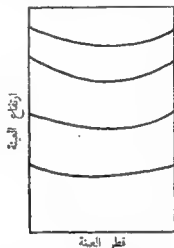
١ - قاعدة ٢ - غلاف المكبس

٦ - قاعدة المكبس ٧ - حلق

٥ - مسحوق الألومنيوم

وبين الشكل رقم (١٢٢) مقطعاً في أسطوانة صنعت من المساحيق المكبسة ، وجرى تقسيمها عند سطحها في المكبس إلى جرعات متساوية بواسطة زقاق نحاسية . ويتضح من الشكل

أن الطبقات لم تزد كثافة فحسب ، بل إنها قد تفرقت أيضاً ، كما أن كثافة الطبقات على طول العينة تكون غير متأثلة ، فتقل من أعلا إلى أسفل ، كما تزداد من مركز التنفر إلى المحيط . ويحدث العكس بالنسبة للطبقات الدنيا ، حيث تزداد الكثافة من المحيط إلى المركز . ويمزى ذلك إلى احتكاك جيئات المساحيق مع أسطح القالب في أثناء عملية الكبس ..



شكل (١٢٢)

رسم توضيحي يبين توزيع الكثافة في مقطع للقطعة المكبوسة (الكبس في اتجاه واحد)

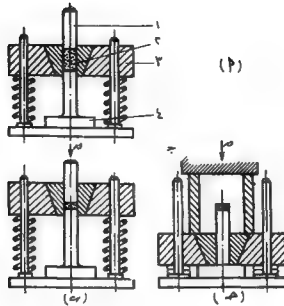
٢ - الكبس من الطرفين :

تستخدم طريقة الكبس من الطرفين للحصول على منتجات يكون طولها ضعف عرضها تقريباً ، أو عندما يكون للقطعة شكل يتميز مع الحصول على كثافة متجانسة بطول القطعة عند استخدام طريقة الكبس في اتجاه واحد .

وبين الشكل (١٢٣) رسماً تخطيطياً لطريقة الكبس من الطرفين (الكبس في اتجاهين) ، وفي هذه الطريقة ، تشحن المساحيق في قالب الكبس ، حيث تكون قاعدته هي الكباس الأسفل ، ثم يثبت الكباس العلوي (الشكل ١٢٣ أ) ويسلط الضغط على الكباسين العلوي والأسفل ، وبذلك يتم كبس المسحوق خلال طرفي قالب الكبس (الشكل ١٢٣ ب) . وبعد إتمام عملية الكبس ، يخرج المكبوس (الشكل ١٢٣ ج) وبهذه الطريقة تحصل على مكبوسات متجانسة الكثافة نسبياً .

٣ - كبس الأشكال المقعدة :

لكبس قطع ذوات أشكال مقعدة ، أبعادها غير متساوية في اتجاه محاور الكبس ، تعد قوالب الكبس يراعى فيها إمكانية الكبس المتجانس للمساحيق في المقاطع المختلفة ، وذلك باستخدام عدة كباسات تتحرك ذاتياً .



شكل (١٢٣) رسم توضيحي لطريقة الكبس من الطرفين

(١) سكب مسحوق الألومنيوم ووضع الكباس (ب) كبس المسحوق إلى منتجات

(ج) تفليس المنتجات

٢ - مسحوق الألومنيوم

١ - كباس

٤ - الكباس الأسفل

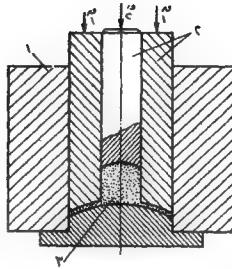
٣ - غلاف الكبس

ويوضح الشكل (١٢٤) مبادئ هذه الطريقة التي تحقق الضغط بقم مختلفة حل سائر أجزاء المسحوق المختلفة .

وعموما يمكن القول بأن تطبيق هذه الطريقة محدود نسبيا ، ويرجع ذلك إلى صعوبة تصميم وارتفاع ثمن قالب الكبس ، وضرورة استخدام مكابس ذات قدرة عالية ، وأيضا بسبب قلة انسياب المسحوق .

٤ - الكبس الهيدروستاتيكي :

تستخدم طريقة الكبس الهيدروستاتيكي للحصول على قطع نصف مشطلة غير دقيقة الأبعاد . وقد تعرف هذه الطريقة أيضا باسم طريقة الكبس من جميع الاتجاهات (من جميع الجوانب) . وتتلخص هذه الطريقة في تسليط ضغط على غلاف علوه بالمسحوق من جميع جوانبه ، بواسطة سائل ، ونتيجة لذلك يمكن الحصول على منتجات متجانسة تتميز بانتظام الكثافة في كل جسم المكبرس .



شكل (١٢٤) كيس قطع مقعدة الشكل من
مسحوق الألومنيوم باستخدام عدة كياسات
١ - غلاف المكبس ٢ - الكياسات
٣ - مسحوق الألومنيوم

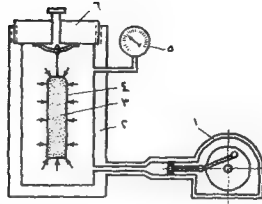
ويتميز الكبس الهيدروستاتيكي بإكساب المنتجات كثافة عالية ومتجانسة ، وبعدم ظهور الشروخ الطبيعية ، أو الشقوق والعيوب الأخرى التي تنتج عن الطرق المادية للكبس ، كما يتميز ببساطة الجهاز المستخدم ، وعدم الحاجة إلى استخدام قوالب كبس غالية ، كما أنه يمكن بواسطة الكبس الهيدروستاتيكي ، كبس قطع ثقيلة الوزن ، يستحيل كبسها بطرق الكبس المادية .
وفي الوقت الحاضر ، توجد معدات الكبس الهيدروستاتيكي ، يمكن بواسطتها الحصول على قطع يصل قطرها إلى ٦٠٠ ملليمتر ، وارتفاعها إلى أكثر من متر ، ويزيد وزنها على نصف طن .

ويبين شكل (١٢٥) رسماً تخطيطياً لجهاز الكبس الهيدروستاتيكي .

وتعتبر صعوبة الحصول على أبعاد قريبة من الأبعاد المطلوبة في المكبوسات ، من العيوب الرئيسية لعملية الكبس الهيدروستاتيكي ، كذلك يلزم إجراء عمليات ميكانيكية لاحقة للحصول على منتجات نهائية .

٥ - درفلة أو طرق المساحيق في أغلفة على الساخن :

يستخدم التشكيل على الساخن ، للحصول على منتجات ذات كثافة عالية . ويتم ذلك بواسطة الدرفلة أو الطرق للمساحيق وهي مبنية في أغلفة خاصة . وهذه الطريقة يجري تطبيقها للحصول على قطع نصف مشغلة من المساحيق ، هي في حقيقتها عملية كبس لجميع جوانب القطعة . وتتلخص العملية في وضع شحنة المساحيق في وعاء قابل للطرق وبحكم الإغلاق ، ثم تسخين الشحنة إلى درجة حرارة عالية ، دون نقطة انصهارها ، ثم تجري الدرفلة أو الطرق على مراحل .



شكل (١٢٥) رسم توضيحي لجهاز الكيس الهيدروستاتيكي لمسحوق الألومنيوم

- | | | |
|------------------|-------------|----------------------|
| ١ - مضخة ضغط عال | ٢ - وعاء | ٣ - مسحوق الألومنيوم |
| ٤ - غلاف مرن | ٥ - مانومتر | ٦ - خطاء |

وفي المادة ، يجري إخراج المنتج من الغلاف بسهولة لعدم تلاحم أو تسابك المسحوق مع مادة الغلاف .

وبتطبيق هذه الطريقة ، يمكن الحصول على سبائك تخليقية للألومنيوم مع غيره من العناصر التي يصعب تسابكها معها في الحالة المنصهرة . وتتميز هذه العناصر بإكساب الألومنيوم مقاومة عالية للتآكل ، لعدم ترسب أصناف (أطوار) جديدة ، فإزالت هذه السبائك التخليقية غاليط ميكانيكية لمصاحيق مكوناتها وليست مركبات كيميائية اندماجية .

وتتميز هذه الطريقة بيزول المصاحيق تماماً عن الغازات المختلفة كالأكسجين والنيتروجين وغيرها ، مما يبعد عن القطع المنتجة أخطار التأكسد وتقليل الغازات خلال بنية المعدن ، وما يترتب على ذلك من آثار ضارة .

٦ - درفلة المصاحيق إلى شرائط :

يمكن تطبيق هذه الطريقة في الحالات التي لا تكون فيها دقة الأبعاد ذات أهمية أولى .

ولإجراء درفلة المصاحيق إلى شرائط ، فإنها تشحن في الوعاء (١) من الشكل (١٢٦) ، حيث تسقط المصاحيق في ثقب بين درفيلين أفقيين يدوران في اتجاهين متضادين ، ويعبور المصاحيق لثقب (أو الممر) بين الدرفيلين ، فإنها تتكاسف في هيئة شريط متأسك ، لا يلبث أن يقابل بمجموعة من الدرافيل الأخرى تعمل على توجيهه ليأخذ وضعا أفقياً ، ثم يولج في فرن لتليده حرارياً ، أو يلف مباشرة دون تليده على هيئة لفات ، ومن الممكن أن تتم درفلة المصاحيق إلى شرائط على البارد أو على الساخن .

ويجرى تليد الشرائط المكبوسة داخل أفران متواصلة للتشغيل في جو من غاز الهيدروجين حتى لا تتأكسد ، ثم يجرى تليديها بعد ذلك .

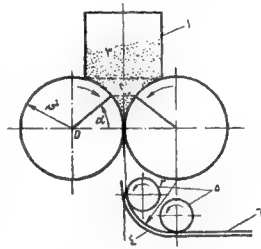
ومن الممكن إجراء عملية التليد كهربائيا بالاستعانة بأجهزة تماس ، حيث يمرر تيار كهربائي مباشرة خلال الشريط ، فترتفع درجة حرارته ويتليد ، ثم يتعرض لعملية تليدين مناسبة بعد ذلك .

(التليد عملية يتم خلالها تسخين الجزء المراد تلييده حتى يتصهر جزئياً فيتماسك عند تبريده)

شكل (١٢٩)

رسم توضيحي يبين دولقة مسحوق الألومنيوم
إلى شرائط :

- ١ - ميزان به مسحوق الألومنيوم
- ٢ - دولفينان
- ٣ - مسحوق الألومنيوم
- ٤ - دليل توجيه
- ٥ - اسطوانتان دحرجتان
- ٦ - الشريط بعد كبسه



٧ - كيس المساحيق باليتق إلى أسلاك أو مواير :

تتلخص فكرة الكيس باليتق ، في إمرار شحنة المساحيق - المعدة للكيس ، بعد تجهيزها وإضافة مواد مزلفة تساعد على زيادة اللقونة إليها - تحت ضغط مرتفع خلال فتحة البيتق ، حيث يتم تكثيف المسحوق نتيجة للاحتكاك مع سطح فتحة البيتق .

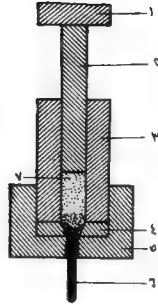
ويتبين الكيس باليتق ، بالنسبة لطرق الكيس العادية ، بإمكانية الحصول على منتجات ذات كثافة متجانسة وبنسبة كبيرة بين أبعادها ، الطولية والمستعرضة .

ويوضح الشكل (١٢٧) رسماً تخطيطياً لهذه الطريقة .

العلاقة بين ضغط الكيس وكثافة المنتجات :

أظهرت دراسة عملية الكيس ، أن زيادة كثافة المساحيق المكبوسة تحدث بانتظام كبير عند زيادة الضغط عن حد معين . ففي أولى مراحل الكيس ، تؤدي أقل زيادة في ضغط الكيس

- شكل (١٢٧) رسم توضيحي يبين طريقة الكبس بالثق إلى أسلاك أو مواسير :
- ١ - دافعة الكباس
 - ٢ - كباس
 - ٣ - وعاء فولاذي
 - ٤ - جزء مخروطي
 - ٥ - غلاف قالب الكبس
 - ٦ - قطعة مكبوسة نصف جاهزة
 - ٧ - مسحوق الألومنيوم



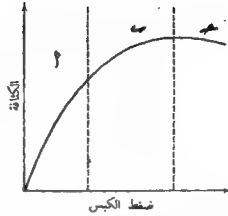
إلى زيادة ملحوظة في كثافة المساحيق . أما في المرحلة التالية ، فلا تؤدي زيادة ضغط الكبس إلى ازدياد يذكر في الكثافة ، كما هو مبين في الرسم البياني التوضيحي بالشكل (١٢٨) .

ويمكن تفسير هذه العلاقة بين الكثافة وضغط الكبس ، بأنه في البداية عند التأثير بضغط صغير ، يحدث التكثيف أساساً نتيجة لإزاحة النسبة الجسيمات المسحوق ، وتنتشر هذه الإزاحة النسبية للجسيمات تحت تأثير - ضغط الكبس في جسم القطعة بصورة غير متجانسة . فتزاح الجسيمات الموجودة في أوضاع ملائمة داخل المسام المجاورة باحتكاك ملحوظ مع بعضها بعضاً ، لذلك فإن سرعة إزاحة الجسيمات في اتجاه الكبس يساوي تقريباً سرعة إزاحة الكباس ، أما سرعة إزاحة الجسيمات الأخرى الموجودة في اتصال وثيق مع بعضها بعضاً ، وخاصة الجسيمات الملاصقة لسطح قالب الكبس ، فتكون أبطأ كثيراً . وينتصر الشغل المبذول في هذه المرحلة أساساً في التغلب على قوى الاحتكاك والتنافر بين الجسيمات .

ومع زيادة كثافة المنتجات وزيادة ضغط الكبس ، يبدأ تشوه جسيمات المسحوق نفسها . وفي هذه المرحلة يبذل جزء ملحوظ من الشغل في التغلب على الاحتكاك بين جسيمات المسحوق وأسطح قالب الكبس .

ومع زيادة الضغط ، في مراحل الكبس التالية ، تتكون تجمعات الجسيمات مع تنميط وتجهيز أسطح الجسيمات نفسها . ويتركز الشغل المبذول في هذه المرحلة في صورة إجهادات مختلفة .

شكل (١٢٨)
العلاقة بين كثافةالقطع المنتجة بالكبس لمسحوق
الألومنيوم وضغط الكبس :
مراحل الكبس :
(أ) المرحلة الأولى
(ب) المرحلة الثانية
(ج) المرحلة الثالثة

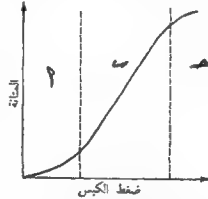


تأثير ضغط الكبس على متانة المنتجات :

تغير متانة المنتجات بصورة غير منتظمة مع تغير ضغط الكبس ، (الشكل ١٢٩)
وفي المرحلة الأولى التي تناظر أقل ضغط ممكن ، تزداد المتانة بسرعة أهل من سرعة زيادة
الضغط ، وفي المرحلة الثانية عند الضغط المتوسط تزداد المتانة متناسبة مع الضغط ، وفي المرحلة
الثالثة عند تسليط ضغط مرتفع تزداد المتانة ببطء شديد .

وتؤثر الشوائب تأثيرا بالغا على متانة المنتجات ، فمعد وجود نسبة عالية من الشوائب
على صورة أكاسيد ، تقل متانة المنتجات بصورة ملموسة . ويمزى ذلك إلى زيادة صلادة
الطبقة السطحية للجسيمات مع نقص شديد في لدونتها .

شكل (١٢٩) العلاقة بين متانة القطع
المنتجة بالكبس لمسحوق الألومنيوم وضغط
الكبس :
مراحل الكبس :
(أ) المرحلة الأولى
(ب) المرحلة الثانية
(ج) المرحلة الثالثة



كبس مساحيق الألومنيوم على الساخن :

عند كبس مساحيق الألومنيوم (وسبائكته) على البارد ، يستهلك معظم الضغط المسلط في تشويه
جسيمات المساحيق . وزيادة لدونة جسيمات المساحيق تعمل على خفض الطاقة المستثمرة في عملية
الكبس بشكل ملحوظ ، كما تزيد من كثافة ومتانة المنتجات .

وكبس مساحيق الألومنيوم على الساخن ، من شأنه أن يؤدي إلى خفض الطاقة المبفولة للكبس ، كما يعمل على تلييد المساحيق آتيا ، مما يساعد في الحصول على منتجات تتمتع بخواص ممتازة من حيث المتانة والمطيلية والموصلية الكهربائية ، بالإضافة إلى دقة الأبعاد .

ويؤدي رفع درجة الحرارة عند الكبس على الساخن ، إلى تحسين الخواص الميكانيكية ، مع تسليط ضغط أقل .

ويعتبر خفض زمن التلييد من أهم سمات طريقة الكبس على الساخن .

وبين الجدول التالي ، وقم (٦) ، درجات الحرارة وزمن التلييد اللازمين للوصول إلى نفس الخواص في حالتي الكبس على الساخن ، والكبس ثم التلييد ، على انفراد . كما بين زمن التسخين ، ودرجة الحرارة عند التاييد في حالة الكبس على الساخن والبارد لمساحيق الألومنيوم .

جدول (٦)

نقطة الانصهار		الكبس على الساخن		التلييد بعد الكبس على البارد	
°م		درجة الحرارة °م		درجة الحرارة °م	
		زمن التسخين بالدقيقة		زمن التسخين بالدقيقة	
٦٥٨		٤٢٧		٤٨٢	
		٠.٧٥		١٥	

ويفسر الانخفاض الكبير في زمن التلييد - كما هو موضح بالجدول - مع الحصول على كثافة عالية للمنتجات ، بأنه نتيجة لتأثير قوى الضغط الخارجي عند الكبس على الساخن ، حيث تساعد جسيمات المسحوق عند درجات الحرارة العالية على زيادة أسطح التلامس فيما بينها ، كما تنساب بسهولة ويسر في شق الاتجاهات ، وفي أغلب الأحيان يحدث انصهار جزئي لبعض جسيمات المسحوق عند أسطح تلامسها ، بسبب احتكاكها مع بعضها بعضا ، الأمر الذي يساعد على سرعة عمليات الانتشار الكيميائي بين جزئيات المسحوق ، وتساكبها ميتالورجيا متى كان ذلك متاحا .

تصنيع قطع السيراميك الفلزي التي تقاوم الحرارة من مساحيق الألومنيوم وأكسيد :

انتشر مؤخرا استخدام قطع السيراميك الفلزي المصنوعة من مساحيق الألومنيوم المزودة بنسبة من الأكسيد في الصناعة ، لما تتميز به هذه السبائك من خواص ، منها قلة الوزن النوعي ، والمتانة والقوة العاليتين ، والمقاومة الكبيرة للتآكل بأغواصه .

وقد أجريت تجارب لدراسة إعداد قطع من مساحيق الألومنيوم ، واستخدمت في التجارب مساحيق الألومنيوم تم إعدادها عن طريق تقوية الممدن المنصهر ، بالتركيب الكيميائي التالي :

سيليكون	٠,٧١%
حديد	٠,١٢%
منجنيز	٠,٠٦%
نحاس	٠,٠٨%
زنك	٠,٠٣%
أكسيد ألومنيوم	٢,٠٠%
ألومنيوم	٩٧,٠٠%

ومن هذه التجارب ، تبين أنه يمكن الحصول على قطع مصنوعة من مساحيق الألومنيوم بكثافة نسبياً ٩٩% بواسطة الكبس تحت ضغط ٨-٥ طن/سم^٢ ثم تليد المنتجات . ومن الممكن الحصول على أكبر متانة من التليد عند درجة حرارة ٩٠٠°م لمدة لا تقل عن ٣٠ دقيقة .

ولمنتجات البراميك الفلزي الذي يدخل في تركيب أكسيد الألومنيوم بنسبة تصل إلى ١٥ - ١٧% أهمية صناعية كبيرة ، فهي تتميز بمقاومة عالية لحرارة . ومتانة ممتازة عند درجات الحرارة المرتفعة ، ومن ثم يمكن استخدامها لصناعة القطاعات المكبوسة ، والمواسير ، والصفائح والمطروقات المختلفة كالكباسات ، وریش مضخات الطائرات .

استخدامات أخرى لمساحيق الألومنيوم وسبائكها :

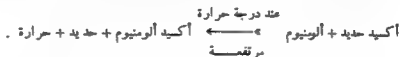
بالإضافة إلى استخدام مساحيق الألومنيوم وسبائكها في إنتاج المكبوسات وغيرها من المنتجات التي تستخدم في شتى المجالات ، هناك عدة استخدامات هامة لها ، منها :

• **عمل الدهانات فضية اللون :** يمزج المسحوق مع المكونات الأخرى لدهان ، ثم تجرى عليه عدة عمليات كيميائية ملائمة ، للحصول على الدهان في شكله النهائي . ويستخدم الدهان في طلاء المعدات التي يراد وقايتها من المؤثرات الجوية ، أو لعكس نسبة كبيرة من أشعة الشمس . كما يستخدم هذا الدهان على نطاق واسع في طلاء المستودعات البترولية . وعربات السكك الحديدية ، وأعمدة الإنارة وغيرها .

• **عامل مختزل في صناعة الصلب :** يستخدم مسحوق الألومنيوم كاملاً اختزال في صناعة الصلب ، فتنضاف نسبة من المسحوق إلى الصلب المنصهر في البودقة لاختزال أكاسيد الحديد المتكونة ، وإزالة الأكسجين الموجود بالمصهور .

• **الثرميت :** الثرميت مخلوط من مسحوق الألومنيوم وأكسيد الحديد . وعند رفع درجة حرارة هذا المخلوط إلى درجة ممتدة ، ينشط الألومنيوم كيميائياً ، حيث يقوم بانزاع

الأكسجين من أكسيد الحديد ، وينتج عن ذلك أكسيد الألومنيوم ومصهور الحديد الفلزى ، مع انطلاق كمية لا بأس بها من الحرارة تعمل على صهر الحديد المنزّل . طبقا لمعادلة الآتية :



وفى بعض الأحيان ، تصاف إلى مخلوط أكسيد الحديد ومسحوق الألومنيوم ، كيات صغيرة من بعض الفلزات الأخرى ، مثل النيكل والمنجنيز ، للحصول على سبائك معينة من الصلب . ويستخدم الترميت فى لحام المعادن ، وفى صنع القنابل الحارقة . وكان فوتين أول من اكتشف تفاعل هذا المخلوط عام ١٨٩٤ ، وتمكن العالم الألماني دكتور هانز جولدميث من الاستفادة من هذا التفاعل فى لحام قضيبين من الصلب بواسطة الصلب المنصهر الناتج .

وهناك طريقة أخرى مبتكرة تعتبر تعديلا للطريقة الأولى ، ويطلق عليها « طريقة كادويل » ، على اسم مكتشفها ، وفيها يستخدم فى المخلوط الترميى أكسيد النحاس بديلا من أكسيد الحديد ، للحصول على النحاس المنصهر الذى يستخدم فى لحام الكابلات الكهربائية .

ولإجراء عملية اللحام بالترميت ، يوضع مخلوط مسحوق الألومنيوم والأكسيد المعدنى فى بودقة حرارية ، وبعد إشعال الخليط وتكون المعدن المنصهر ، يصب هذا المعدن من فوهة البردة إلى حيز سبق إعداده حول حافى القطعتين المراد لحامهما ، فينصهر بالتالى جزء من الحافيتين نتيجة لحرارة الشديدة ، ويجمد منطقة المعدن المنصهر تتلاصق القطعتان وتتأسكان .

ويستخدم الترميت أيضا فى صنع القنابل الحارقة ، حيث تكون الحرارة المتولدة كافية لإسرام الحريق فيما تقع عليه من أهداف معادية . وقد تتكون القنبلة من أسطوانة من المغنسيوم محشوة بالترميت . ويوجد عند طرفها الأسفل مادة متفجرة تشتمل بمجرد اصطدام القنبلة بالهدف ، فتشعل بدورها خليط الترميت الذى يؤدى إلى اشتعال المغنسيوم ، وتكون الحرارة المتولدة من الصلب المنصهر والمغنسيوم كافية لإشعال حرائق خطيرة .

1000

المجلد الرابع للمعاصرة

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠	٢١	٢٢	٢٣	٢٤	٢٥	٢٦	٢٧	٢٨	٢٩	٣٠	٣١	٣٢	٣٣	٣٤	٣٥	٣٦	٣٧	٣٨	٣٩	٤٠	٤١	٤٢	٤٣	٤٤	٤٥	٤٦	٤٧	٤٨	٤٩	٥٠	٥١	٥٢	٥٣	٥٤	٥٥	٥٦	٥٧	٥٨	٥٩	٦٠	٦١	٦٢	٦٣	٦٤	٦٥	٦٦	٦٧	٦٨	٦٩	٧٠	٧١	٧٢	٧٣	٧٤	٧٥	٧٦	٧٧	٧٨	٧٩	٨٠	٨١	٨٢	٨٣	٨٤	٨٥	٨٦	٨٧	٨٨	٨٩	٩٠	٩١	٩٢	٩٣	٩٤	٩٥	٩٦	٩٧	٩٨	٩٩	١٠٠
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

القطار الكهربائي

۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱۰۲	۱۰۱	۱۰۰	۹۹	۹۸	۹۷	۹۶	۹۵	۹۴	۹۳	۹۲	۹۱	۹۰	۸۹	۸۸	۸۷	۸۶	۸۵	۸۴	۸۳	۸۲

الملحق (٢)
العناصر الكيميائية ورموزها

الرمز		سلسل	العنصر	الرمز		سلسل	العنصر
أفريقي	عربي			أفريقي	عربي		
Po	بل	٢٧	بولونيوم	Y	يت	١	إتريوم
Bk	بك	٢٨	بيركليوم	Er	ير	٢	إربيوم
Ba	بير	٢٩	بيريليوم	Ar	جو	٣	أرجون
Tb	تر	٣٠	تربيوم	Os	م	٤	أوسميوم
Tc	تك	٣١	تكنيتيوم	As	حنا	٥	أستاتين
Te	تل	٣٢	تيلوريوم	At	كت	٦	أكتينيوم
Ta	تا	٣٣	تانتاليوم	Al	لو	٧	ألومنيوم
W	تن	٣٤	تنجستن	Am	مر	٨	أمريسيوم
Ti	تي	٣٥	تيتانيوم	Sb	نت	٩	أنتيمون
Tl	ثا	٣٦	ثاليوم	In	ند	١٠	إنديوم
Th	ثر	٣٧	ثوريوم	Eu	ي	١١	أوروبيوم
Tm	ثل	٣٨	ثولميوم	O	أ	١٢	أكسجين
Ga	جا	٣٩	جالسيوم	Yb	يت	١٣	أيتريوم
Gd	جد	٤٠	جديليوم	Ir	ير	١٤	إيريديوم
Ge	جير	٤١	جermanium	Es	ش	١٥	إيشينيوم
Fe	ح	٤٢	حديد	Ba	با	١٦	باريوم
Zn	خ	٤٣	زنك	Pd	بلد	١٧	بالاديوم
Dy	يس	٤٤	ديسبريوم	Fr	فس	١٨	فرانسيوم
Au	ذ	٤٥	ذهب	Pa	بت	١٩	بروتكتينيوم
Ra	د	٤٦	رادون	Br	بر	٢٠	بروم
Ra	ر	٤٧	راديوم	Pm	بت	٢١	بروميثيوم
Pb	س	٤٨	رصاص	Bi	بز	٢٢	بزموت
Bb	بيد	٤٩	روبيديوم	Pt	بلا	٢٣	بلاتين
Rn	ثم	٥٠	رونغينيوم	Pu	پلو	٢٤	پلوتونيوم
Rh	فص	٥١	روغينيوم	K	پو	٢٥	پوتاسيوم
Re	نيم	٥٢	رينيوم	B	ب	٢٦	بورون

الرمز				الرمز			
الرمز	عربي	الرمز	عربي	الرمز	عربي	الرمز	عربي
Cl	كل	كلور	٧٩	Hg	حـ	زئبق	٥٣
Co	كو	كوبلت	٨٠	Zr	كن	زركونيوم	٥٤
Cm	كم	كوريوم	٨١	As	ز	زرنيخ	٥٥
La	لان	لانثانوم	٨٢	Xe	نو	زينون	٥٦
Lu	لث	لوتيشيوم	٨٣	Sr	ست	سترونشيوم	٥٧
Lw	لر	لورنسيوم	٨٤	Ce	سر	سيريوم	٥٨
Li	لث	ليثيوم	٨٥	Cs	سز	سيزيوم	٥٩
Mg	مغ	مغنسيوم	٨٦	Sc	سك	سكانديوم	٦٠
Md	مف	مديفيوم	٨٧	Se	سل	سيلينيوم	٦١
Mn	من	منغنيز	٨٨	Sm	سم	سماريوم	٦٢
Mo	مو	موليبدين	٨٩	Si	س	سيلكون	٦٣
Np	نپ	نپتونيوم	٩٠	Na	ص	صوديوم	٦٤
N	ن	نروجين	٩١	V	فا	فاناديوم	٦٥
On	نح	نحاس	٩٢	Ag	ف	فضة	٦٦
Ne	نل	نوليوم	٩٣	F	فل	فلور	٦٧
Ni	نلك	نيكل	٩٤	Fn	فم	فرميوم	٦٨
Nb	نيپ	نيوبيوم	٩٥	Fr	فر	فرنسيوم	٦٩
Nd	نيو	نيوديميوم	٩٦	P	فو	فوسفور	٧٠
Ne	نف	نيسون	٩٧	Sa	ق	قصدير	٧١
Hf	هف	هفيوم	٩٨	Cf	كف	كاليفورنيوم	٧٢
He	هي	هليوم	٩٩	S	كب	كبريت	٧٣
Ho	هو	هوليوم	١٠٠	Cd	كد	كاديوم	٧٤
H	يد	هيدروجين	١٠١	C	ك	كربون	٧٥
I	ي	يود	١٠٢	Cr	كر	كروم	٧٦
U	يو	يورانيوم	١٠٣	Kr	كن	كريبتون	٧٧
—	—	—	—	Ca	كا	كلسيوم	٧٨

الملحق (٢)

تأثير بعض الكيماويات على الألومنيوم وسبائك

التصنيف :

الكيماويات التي تنتمي إلى القسم « أ » : لا يتأثر الألومنيوم بدرجة خطيرة بهذه الكيماويات عند درجات الحرارة المتباددة وفي غياب العوامل التي تعمل على تعقيد الموقف ، مثل الشوائب الأكالة في هذه الكيماويات أو التأثير الجلفاني الذي ينتج عن اتصال فلزين غير متشابهين .

الكيماويات التي تنتمي إلى القسم « ب » : يجب عدم استخدام الألومنيوم إلا بعد إجراء تجارب عليه والتأكد من صلاحيته في هذه الظروف .

الكيماويات التي تنتمي إلى القسم « X » : لا يمكن استخدام الألومنيوم بصورة مرضية إلا إذا كانت هناك ظروف خاصة عند الاستخدام ، وحتى في هذه الحالة فإنه يجب تجربته .

أيضا أوصى باستخدام الألومنيوم (١) ، أو أجيز محاولة استخدام (ب) ، فإن التوصيات تشير ضمنا إلى الكيماويات المركزة (١٠٠٪) إلا إذا نص على غير ذلك ، وأيضا أوصى بعدم استخدام الألومنيوم (X) ، فإن التوصيات تتضمن الكيماويات عند أية درجة تركيز .

١ - عوامل غير عضوية		التصنيف
أحماض غير عضوية	محاليل حمض البوريك ١-٥٪	أ
	حمض الكروميك (النقى) (بأى تركيز)	ب
	حمض الهيدروكلوريك	X
	حمض الهيدروفلوريك ١ - ٦٠٪	X
	حمض النتريك	ب
	حمض الفوسفوريك	X
	حمض الكبريتيك	ب
الأمونيا ومركبات الأمونيوم	حمض الكبريتيك	ب
	الأمونيا ، غاز أو سائل	أ
	فلوريد الأمونيوم (بأى تركيز)	ب
	هيدروكسيد الأمونيوم - الوزن النوعي ٨٠٪	ب
	أملاح الأمونيوم (مظمها)	ب
	كبريتيد الأمونيوم (بأى تركيز)	أ

ب	أملاح حمضية	
أ	البيرونات القاعدية للفلزات	
×	الكربونات القاعدية للفلزات (بأي تركيز)	
×	الهيدروكسيدات القاعدية للفلزات (بأي تركيز)	
ب	الحرسينات (بأي تركيز)	
ب	محاليل البوركس ١ - ٣ %	
×	البروسيدات	
×	الكلووريدات (جميعها)	
ب	الكرومات (أغلبها) بأي تركيز	
×	فلمينات الزئبق	
×	أملاح الفلزات الثقيلة (معظمها)	أملاح الفلزات
×	الهيدروكسيدات (أغلبها) بأي تركيز	وهيدروكسيداتها
×	الأيسوديدات	
×	أملاح الزئبق	
ب	النترات (جميعها)	
أ	البروسينات (معظمها) بأي تركيز	
×	الفوسفاتات (معظمها) بأي تركيز	
×	هيدروكسيد البوتاسيوم (بأي تركيز)	
أ	نريد البوتاسيوم	
ب	الملح (كلوريد الصوديوم)	
×	هيدروكسيد الصوديوم (بأي تركيز)	
ب	سليكات الصوديوم (الزجاج المائي) بأي تركيز	
أ	الكبريتات	
أ	بخار الماء ١٠٠ %	
أ	الماء (به كربونات)	
×	الماء (به كلور)	الماء
أ	الماء (المقطر)	
أ	ماء المطر	

١ - عوامل غير عضوية		التصنيف
×	محاليل القصير	
×	الفلسور	
ب	فوق أكسيد الهيدروجين ٣-٣٠ %	
أ	كبريتيد الهيدروجين	
ب	حبر (حديدى) ١٠٠ %	عوامل غير عضوية مختلفة
×	الزئبق	
ب	غازات نيتروجينية ١٠٠ %	
أ	الأكسجين	
أ	الكبريت	
أ	ثنائي أكسيد الكبريت	

٢ - عوامل عضوية		التصنيف
أ	حمض الخليك	
أ	حمض الكربوليك (الفينول)	
أ	الأحماض الدهنية	
!	حمض الكربوليك	أحماض عضوية
ب	أحماض الفواكه	
ب	أحماض عضوية (معظمها)	
ب	كحول بربثيل	
ب	كحول ليشيل	كحوليات
ب	كحول ميثيل (١٠٠ %)	
ب	كحوليات أعلى	
×	أنيلين ، سائل	
ب	أنتراسين	
×	حمض الأنترانيك	قطران الفحم ومشتقاته

التصنيف	٢ عوامل عضوية
أ	بستزين
ب	كسريزول
ب	نفتالين
أ	فينول (حمض الكربوليك)
أ	تولوين
أ	البيرة ١٠٠٪
أ	الربيد ١٠٠٪
أ	دهون (خالية من الأحماض)
ب	صبر الفواكه
أ	جيلاتين (بأى تركيز)
أ	زيست نباتية
أ	محاليل سكرية بأى تركيز (خالية من الأحماض)
أ	الخلل
أ	أسفلت
أ	زيوت الخروع
أ	جازولين (خال من الرصاص)
ب	جازولين (به رصاص)
أ	شمع (خال من الأحماض)
أ	زيت البياكم الهيدروليكية
أ	الهيدروكربونات
أ	الكبروسين
أ	زيت بفر الكتان
أ	زيت حيواني (خال من الأحماض والكلوريدات)
أ	زيت مطبق (خال من الكلوريدات)
أ	زيت نباتي (خال من الكلوريدات)
أ	مشتقات البترول (خالية من الكلوريدات)
أ	قمار
أ	شمع (خال من الأحماض)

مواد غذائية

زيوت ، شعوم ، شعوم ،
ومستحبات زيوت البترول

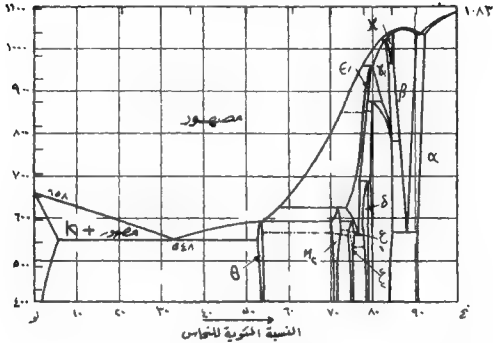
أ	استلهابيد	
أ	أستون (بأى تركيز)	
أ	أستيلين	
ب	كافور	
أ	ثاني كبريتيد الكربون	
أ	ثاني أكسيد الكربون	
أ	أول أكسيد الكربون	
ب	رابع كلوريد الكربون (جاف)	
أ	سليولوز	
×	كلورفورم	
أ	الكوبال (صمغ راتنجى)	
أ	أشير	
ب	خلات الإيثيل (جافة)	
أ	كلوريد الإيثيل (جاف)	
ب	بروميد الإيثيلين	
ب	جليكول الإيثان	
ب	الفورمالدهيد (بأى تركيز)	
أ	غاز الإضاءة	
ب	صمغ ، غراء (بأى تركيز)	
أ	جليسرين	
ب	حبر (صبغة)	
×	كلوريد الميثيل	
أ	نتر و جليسرين	
ب	مبردات	
أ	مطاط ومواد لاصقة له	
ب	محاليل الالباقعة	
أ	رابع كلوريد الإيثيلين (جاف)	
أ	زيت آثر بنتنسا	
أ	اليوريا	

موائل عضوية مختلفة

الملحق (٤)

منحنيات الإيزان الحرارية لمجموعات ثنائية لسبائك الألومنيوم

(لو - نج) (ألومنيوم - نحاس)



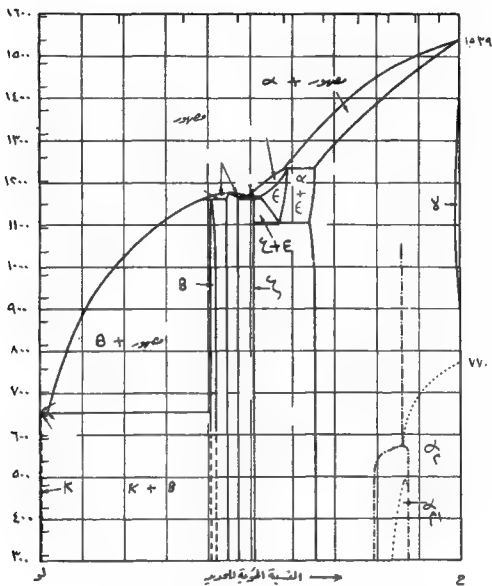
يتضح من الشكل أن علاقات الإيزان في المنطقة بين ٢٠-٣٠٪ ألومنيوم لم يستدل عليها تماماً . وخلال تبريد سريع يتحول الصنف β إلى واحد من ثلاثة أصناف شبه مستقرة .

ذاتية النحاس في الألومنيوم في الحالة الصلبة : ٤,١٪ عند ٥٥٠٠ م ، ٢,٦٪ عند ٥٤٥٠ م ، ١,٥٪ عند ٤٠٠ م ، ٠,٨٥٪ عند ٣٥٠ م ، ٠,٤٥٪ عند ٣٠٠ م
ذاتية الألومنيوم في النحاس في الحالة الصلبة : ٨٪ عند ٨٩٠ م ، ٨,٥٪ عند ٧٩٠ م ، ٩٪ عند ٦٩٠ م ، ٩,٤٪ عند ٥٦٠ م .

السبائك التي تقع عند طرف منحي الإيزان لها أهمية اقتصادية ، ومن ثم فن المستصوب رسم طرق هذا المنحنى بشئ من التفصيل .

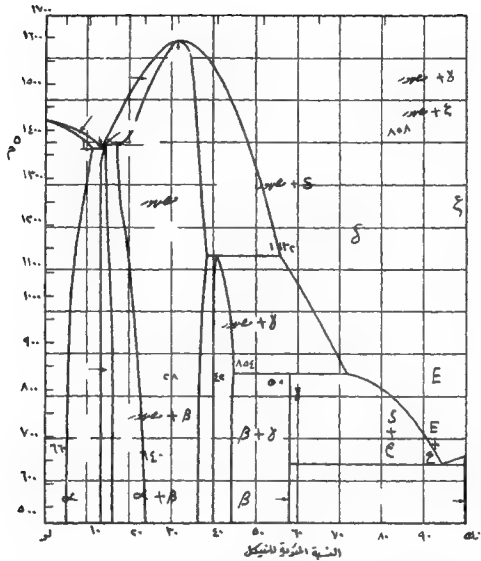
تحتوي سبائك برونز الألومنيوم (الفئتي بالنحاس) على نسب تتراوح بين ٤-١١٪ من الألومنيوم مع - أو بدون - عناصر سبيكة أخرى أهمها الحديد أو الحديد والتيتال .

وتحتوي سبائك الألومنيوم في هذه المجموعة على نسبة تتراوح بين ١٢-١٥٪ من النحاس ، بالرغم من أن سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل لا تحتوي - عادة - على أكثر من ٥٪ من النحاس . وتعرض سبائك الألومنيوم التي تحتوي على النحاس (سواء القابلة للتشكيل أو سبائك المسبوكات) للمعاملة الحرارية بهدف تحسين خواصها الميكانيكية .



(لو - ح) ألومنيوم - حديد

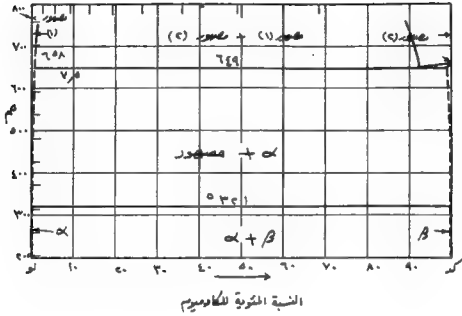
يتضح من الشكل البياني أن الصنف θ والذي يناظر تقريبا الصنف ح لو θ ، يتحول إلى الصنف ح γ لو θ درجة حرارة أقل قليلا من 900°C . تصل ذائبية الحديد في الألومنيوم النقي إلى حوالي 0.3% عند درجة حرارة اليوتكتي (900°C) ، وتقل بانخفاض درجة الحرارة .



(لو - نك) ألومنيوم - نيتكل

يستخدم النيكل عنصر سبائك يضاف إلى الألومنيوم وسبائك ، خاصة السبائك التي تحتوي على المغنسيوم والنحاس ، والسبائك التي تحتوي على المغنسيوم والسيليكون . ويؤدي وجود النيكل إلى زيادة متانة هذه السبائك عند درجات الحرارة العالية ، كما يؤدي إلى تقليل معامل التمدد الحراري ، ولكن تقل مقاومة السبيكة نتيجة لإضافة هذا العنصر لتآكل الكيمياء إلى حد ما . وتستخدم كثير من سبائك الألومنيوم التي تحتوي على النيكل في صناعة المزدوجات الحرارية . من منحنى الاتزان الحراري ، يتضح أن ذاتية النيكل في الألومنيوم في حالة الصلابة هي كما يلي :

٠.٠٤ ٪ عند ٦٢٥°م ٠.١٨ ٪ عند ٥٧٠°م ٠.٠٦ ٪ عند ٥٥٥°م

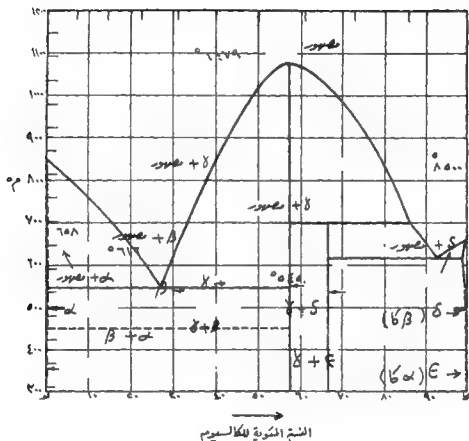


(لو-كـ) ألومنيوم - كـد سيم

لم تحظ هذه المجموعة الثنائية بالأهتمام المناسب لدى الباحثين ، وأن كان قد تم رسم منحنى الاتزان لهذه المجموعة ، إلا أن كثيراً من تفاصيله لم تحدد بدقة كافية .

ووجد أن ذائبية الكاديوم في الألومنيوم في حالة الصلابة منخفضة وتبلغ ١٪ عند درجة حرارة اليوتكتي (٥٦٤٩ °) . ولكن فيما يخص بذائبية الألومنيوم في الكاديوم في حالتي الصلابة والانصهار ، فهي غير متاحة ، وعلى الأرجح فهي متناهية الصغر .

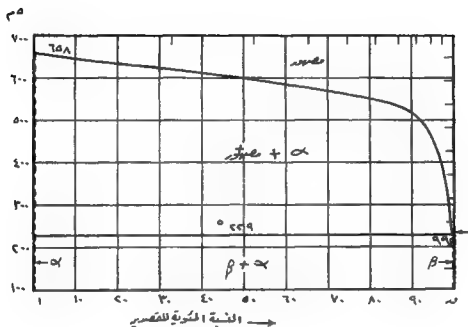
ويوصى باستخدام الكاديوم في سبائك الألومنيوم للحام ، وفي سبائك الألومنيوم التي تستعمل في المحامل ، وفي سبائك الألومنيوم سهل القطع .



(لوكا) ألومنيوم - كلسيوم

نسبة تذوب الكلسيوم في حالة الصلابة منخفضة وتبلغ ٠.٦٪ عند ٦٠٠°م ، وتزداد بجدّة حتى تتلخّص ٢.٨٪ عند ٦١٦°م . وطبقاً للمعلومات المتاحة ، فإن الصنف B ينظر الصيغة الكيميائية لوم كا ، وإن كان قد أشير حديثاً إلى أن الصيغة الأكثر تأكيداً هي لوه كا .

وليس لسبائك الألومنيوم - الكلسيوم أية أهمية تجارية . ومع ذلك يستخدم الكلسيوم تجارياً كمضخّر سيبيك ثنائي في سبائك الديورالومين ، بهدف تحسين قابليتها لتشغيل على الساخن .

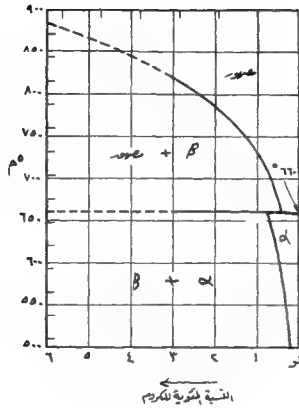


(لو- ق) ألومنيوم - قصدير

لم يتم التوصل إلى قيمة محددة لذاتية عنصر القصدير في الألومنيوم في حالة الصلابة . ولكن يمكن القول - بصفة عامة - بأن القصدير شحيح الذوبان في الألومنيوم في هذه الحالة .

ومن النتائج التي يؤخذ بها لتفاوت القصدير في الألومنيوم الآتي :

- ٠.٠٥٪ عند ٥٥٠° م
- بضعة أجزاء من الألف (في المائة) عند درجة حرارة اليوتكتي (٢٢٩° م) .
- تعتمد ذاتية القصدير في الألومنيوم عمليا عند درجات الحرارة تحت درجة اليوتكتي .



(لو-كر) ألومنيوم - كروم

يبين الشكل ذلك الجزء من منحنى الاتزان لو - كر الذي تم استقصاؤه بدرجة كافية الصنف B - الذي يوجد في حالة اتزان مع المحاليل الثنية بالألومنيوم - صيفته كر لو . وجد أن ذلك الصنف يتكون نتيجة تفاعل بريتكي يتم بين مصهور وصنف جامد غني بالكروم عند درجة حرارة بين 760-800 م° . ولم يلاحظ هذا التفاعل في السبائك التي تحتوي حتى 2% من الكروم .

وهناك القليل من سبائك الألومنيوم التي تحتوي على كميات قليلة من الكروم (0.1-0.3 %). وفي بعض السبائك تحدث إضافة الكروم تحسينا ملحوظا للمقاومة لتآكل الكيميائي .

البيانات الحرارية لبعض سبائك الألومنيوم قائمة الاستعمال

مسائل التبريد : (أ) تبريد هوائي

(ج) تبريد هوائي حتى 20°C ثم التبريد البطيء عند هذه الدرجة من الحرارة .

الملحق (٦)

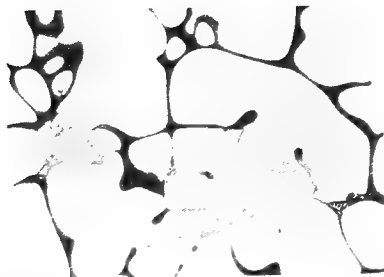
نصن مجرى لبعض عينات من سبائك الألومنيوم



الشكل ١ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطريق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٤ س ، ويتضح في العينة المجهرية المكونات المختلفة في توزيع غير منتظم . (غير منمش) .



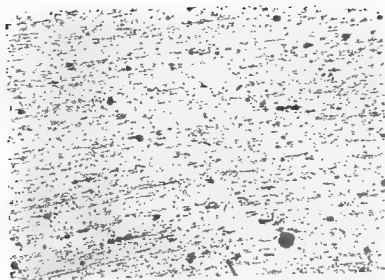
الشكل ٢ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٤ س ، ويتضح في العينة التوزيع غير المنتظم لمكوناتها . منمشة بمعدل الكبريتيك ٢٠٪ .



الشكل ٣ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المبيوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٨ = ٤ ، ويتضح في العينة المكونات المختلفة في توزيع غير منتظم (غير منمش) .



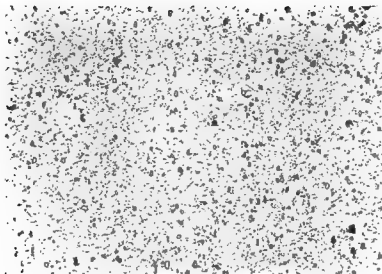
الشكل ٤ : تركيب بنياني يشبه تركيب المصبوبات (المبيوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٨ = ٤ ، ويتضح في العينة المكونات المختلفة في توزيع غير منتظم . منشفة هيدروكسيد الصوديوم ١٠٪ .



الشكل ٥ : التركيب النهائي لمينة من شبكة الألومنيوم (ب) بعد درفلتها ، منمشة بمحضر الهيدروكلوريك والهيدروفلوريك .



الشكل ٦ : التركيب النهائي لمينة من شبكة الألومنيوم (ب) بعد تلدينها (تخميرها) . منمشة بمحضر الهيدروكلوريك والهيدروفلوريك .



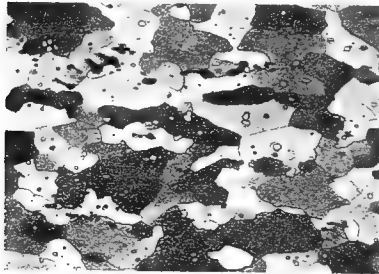
الشكل ٧ : المظهر المجهرى لamine من شبكة الألومنيوم ٨ حـ مكية بطيقة أ وتم تلدينها بطريقة سليمة ، وفي هذه الamine يظهر المكون الدقيق ألومنيذ النحاس ، وتوزيعه المنتظم خلال كل المقطع .



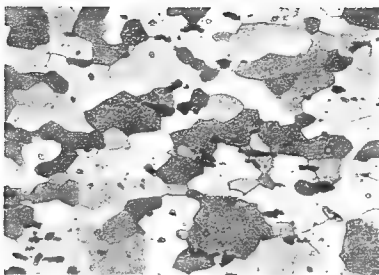
الشكل ٨ : المظهر المجهرى لamine من شبكة الألومنيوم ٨ حـ مكية بطيقة من الألومنيوم النقي ، وتم تلدينها بطريقة غير سليمة ، ويرى بوضوح التوزيع الرديء للمكون ألومنيذ النحاس . هذا التركيب ينتج عنه خواص تشكيلية غير جيدة .



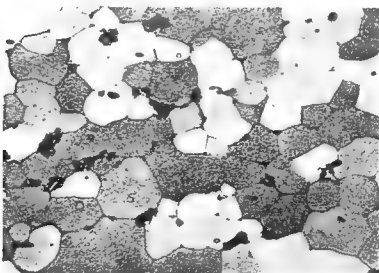
الشكل ٩ : عينة مجهرية لمقطع سبيكة الألومنيوم ٨ ج ، وفيها يتضح الترسب خلال الحدود الحبيبية (الحدود الفاصلة بين الحبيبات) نتيجة للتسخين لدرجة حرارة عالية ، وتبريد بطيء خلال عالية التلدين . منمشة بمحضر الهيدروفلوريك ٥٠٪ .



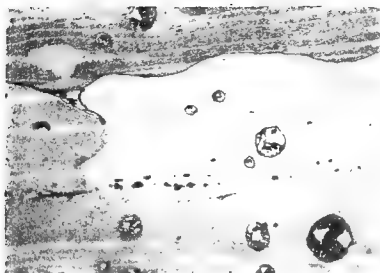
الشكل ١٠ : عينة مجهرية توضح التركيب البنيائي لسبيكة الألومنيوم ٥ ج تمت معالجتها حرارياً ، ويتضح من العينة عدم تقارب بعض المكونات (أساساً ألوينيد النحاس) التي تظهر باللون الأبيض خارج المحلول في العينة المجهرية .



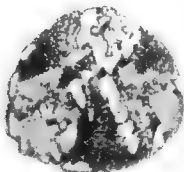
الشكل ١١ : عينة مجهرية لسيكة ٥ - ٥ ، بتركيب بنىان تمطى ، نتيجة لإجراء المعاملة الحرارية بطريقة سليمة .



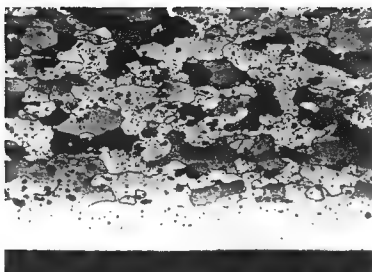
الشكل ١٢ : عينة مجهرية لسيكة ٥ - ٥ ، يتضح فيها التركيب البنائى نتيجة معاملة حراريا بطريقة غير سليمة ، ويتضح فى العينة بعض المناطق التى تعرضت للانصهار على الحدود الحبيبية نتيجة لتعرض لموجة حرارة عالية .



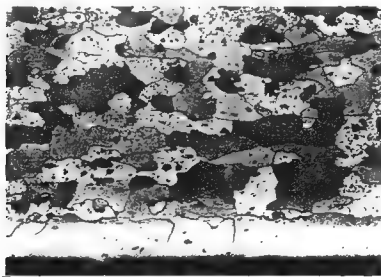
الشكل ١٣ : عينة مجهرية للسيكة هـ - ، عولت حرارياً بطريقة خاصة ، وفيها يتضح انصهار مناطق البونكني ، وأيضاً خلال الحدود الحبيبية نتيجة التعرض لدرجة حرارة عالية .



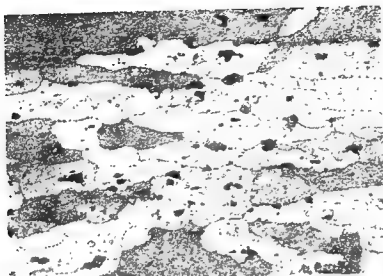
الشكل ١٤ : نفس العينة السابقة (للسيكة هـ -) ، بعد تكبير الجزء الذي يحتوي على مناطق منصهرة نتيجة تعرضها لدرجة حرارة مفرطة أثناء المعاملة الحرارية .



الشكل ١٥ : انتشار كمية عادية من النحاس وغيره من المكونات الأخرى خلال طبقة الألومنيوم التي تغطي بها السبيكة (٨٠) وتم ذلك نتيجة لمعامله حرارية أجريت بطريقة سليمة.



الشكل ١٦ : انتشار العناصر السبيكية كالنحاس وغيره من المكونات الأخرى ، يبلغ أقصاه خلال طبقة الألومنيوم النقية التي تغطي بها السبيكة ٨٠ .
وتسبب حفظ العينة تحت درجة حرارة المعاملة الحرارية لفترة طويلة في تكوين هذا التركيب النهائي غير المرغوب .



الشكل ١٧ : تركيب بنياني ناتج عن تسقية الشبكة ٨ ، بعد إذابة مكوناتها في محلول متجانس . ويلاحظ في هذا التركيب اصفاء التباين الشديد في حجم الجسيمات البلورية له وترسيب المكونات مع الحدود الحبيبية .



الشكل ١٨ : تركيب بنياني يوضح تأثير المعاملة الحرارية في فرن جوهر غير مناسب ميتالورجيا ، حيث يحتوي على نواتج الاحتراق أو وجود بخار الماء بوفرة . عينة من الشبكة تأثرت بالتأكسد عند درجة حرارة عالية

الملحق (٧)

أوزان القطاعات الأساسية لمصحات الألومنيوم

في الجداول التالية ، اتخذت الكثافة ٢,٧ جم/سم^٣ ، وهي متوسط كثافة الألومنيوم النقي والألومنيوم النقي تجاريا ، أساسا للأوزان .

ونظرا لوجود تباين في كثافة سبائك الألومنيوم المختلفة ، نتيجة للتغير في نوعية وكمية الإضافات السبكية ، مما يؤدي إلى وجود اختلافات في الأوزان ، لذلك فن المهم الرجوع إلى الجدول التالي الذي يضم السبائك التشكيلية الواردة في هذا الكتاب ، وهي سبائك المجموعة (ج) ، وأمام كل سبيكة منها معامل حسابي هو النسبة بين الكثافة تلك السبيكة إلى الكثافة ٢,٧ . وبضرب هذا المعامل في الوزن المدون بالجدول أي قرين قطاع يمينه ، نحصل عل وزن هذا القطاع إذا كان مصنوعا من السبيكة المناظرة . ويتراوح المعامل الحسابي بين ٠,٩٩٢ ، الذي يناظر الكثافة ٢,٦٨ للسبيكة (١٢ ج) ، وبين ١,٠٤٤ الذي يناظر الكثافة ٢,٨٢ للسبيكتين (٢ ج) ، (١٧ ج) .

السبيكة	الكثافة	المعامل الحسابي	السبيكة	الكثافة	المعامل الحسابي
١ ج	٢,٧٣	١,٠١١	١٠ ج	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٢ ج	٢,٨٢	١,٠٤٤	١١ ج	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٣ ج	٢,٨١	١,٠٤٠	١٢ ج	٢,٦٨	٠,٩٩٣
٤ ج	٢,٨	١,٠٣٧	١٣ ج	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٥ ج	٢,٧٨	١,٠٢٩	١٤ ج	٢,٦٤	٠,٩٧٨
٦ ج	٢,٧٩	١,٠٣٣	١٥ ج	٢,٧	١,٠٠٠
٧ ج	٢,٨	١,٠٣٧	١٦ ج	٢,٥٨	١,٠٣٧
٨ ج	٢,٧٧	١,٠٢٦	١٧ ج	٢,٨٢	١,٠٤٤
٩ ج	٢,٧٩	١,٠٣٣			

الشرايط والألواح

الجدول (أ)

السلك	وزن وحدة المساحات كجم / متر ^٢	مساحة وحدة الأوزان متر ^٢ / كجم
١	٠,٠٠٢٧	٣٧٠,٤
٢	٠,٠٠٥٤	١٨٥,٢
٣	٠,٠٠٨١	١٢٣,٤٥
٤	٠,٠١٠٨	٩٢,٦
٥	٠,٠١٣٥	٧٤,٠٨
٦	٠,٠١٦٢	٦١,٧٣
٧	٠,٠١٨٩	٥٢,٩١
٨	٠,٠٢١٦	٤٦,٣٠
٩	٠,٠٢٤٣	٤١,١٥
١٠	٠,٠٢٧٠	٣٧,٠٤
١٢	٠,٠٣٢٤	٣٠,٨٦
١٤	٠,٠٣٧٨	٢٦,٤٦
١٦	٠,٠٤٣٢	٢٢,١٥
١٨	٠,٠٤٨٦	٢٠,٥٨
٢٠	٠,٠٥٤٠	١٨,٥٢
٣٠	٠,٠٨١٠	١٢,٣٥
٤٠	٠,١٠٨٠	٩,٢٦
٥٠	٠,١٣٥٠	٧,٤١
٦٠	٠,١٦٢٠	٦,١٧
٧٠	٠,١٨٩٠	٥,٢٩
٨٠	٠,٢١٦٠	٤,٦٣
٩٠	٠,٢٤٣٠	٤,١٣
١٠٠	٠,٢٧٠٠	٣,٧٠
١٥٠	٠,٤٠٥٠	٢,٤٧
٢٠٠	٠,٥٤٠٠	١,٨٥

١ سم^٢ ≡ ٢,٧ جرام

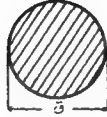
١ جرام ≡ ٠,٣٧٠٤ سم^٢

١٥ - أدرج السلك بوحدة الميكرون في الجدول (أ) والجدول (ب) حتى الخط الأدنى لفواصل ، ثم أدرج في باقي الجدول (ب) بالمليترات .
٢ - حسب المساحة لوحدة الأوزان في الجدول (أ) بالمتر المربع ، بينما حسب في الجدول المربع (ب) بالدسي متر .

الجدول (ب)

المساحة وحدة الأوزان ديسمتر مربع / كجم	وزن وحدة المساحات كجم / متر ٢	السمكة
١٤٨,١٥	٠,٦٧٥٠	٢٥٠
١٢٣,٤٧	٠,٨١٠٠	٣٠٠
٩٢,٦	١,٠٨٠٠	٤٠٠
٧٤,٠٨	١,٣٥٠٠	٥٠٠
٦١,٧٣	١,٦٢٠٠	٦٠٠
٥٢,٩١	١,٨٩٠٠	٧٠٠
٤٦,٣	٢,١٦٠٠	٨٠٠
٤١,١٦	٢,٤٣٠٠	٩٠٠
٣٧,٠٠	٢,٧٠٠٠	١ مليلتر
١٨,٥٠	٥,٤٠٠٠	٢
١٢,٣٥	٨,١٠٠٠	٣
٩,٢٦	١٠,٨٠٠٠	٤
٧,٤١	١٣,٥٠٠٠	٥
٦,١٧	١٦,٢	٦
٥,٢٩	١٨,٩	٧
٤,٦٣	٢١,٦	٨
٤,١٢	٢٤,٣	٩
٣,٧	٢٧,٠	١٠
٣,٠٨٦	٣٢,٤	١٢
٢,٦٤٦	٣٧,٨	١٤
٢,٣١٥	٤٢,٢	١٦
٢,٠٥٨	٤٨,٦	١٨
١,٨٥٢	٥٤,٠	٢٠
١,٦٨٤	٥٩,٤	٢٢
١,٥٤٣	٦٤,٨	٢٤

الأسياح المستديرة



القطر (د) (م)	مساحة المقطع (م ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
١	٠,٧٨٥	٠,٠٠٢١٢
١,٢	١,١٢١	٠,٠٠٣٠٥
١,٥	١,٧٦٧	٠,٠٠٤٧٧
١,٨	٢,٥٤٥	٠,٠٠٦٨٧
٢	٣,١٤٢	٠,٠٠٨٤٨
٢,١	٣,٤٦٤	٠,٠٠٩٣٥
٢,٢	٣,٨٠١	٠,٠١٠٣
٢,٣	٤,١٥٥	٠,٠١١٢
٢,٤	٤,٥٢٤	٠,٠١٢٢
٢,٥	٤,٩٠٩	٠,٠١٣٣
٢,٦	٥,٣٠٩	٠,٠١٤٣
٢,٧	٥,٧٣٦	٠,٠١٥٥
٢,٨	٦,١٥٨	٠,٠١٦٦
٢,٩	٦,٦٠٥	٠,٠١٧٨
٣	٧,٠٦٩	٠,٠١٩١
٣,٢	٨,٥٤٢	٠,٠٢١٧
٣,٥	٩,٦٢١	٠,٠٢٦٠

٢٥٧

(تابع) الأسيلنج المستديرة

القطر (قد) (م)	مساحة المقطع (م ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
٣,٨	١١,٣٤	٠,٣٠٦
٤	١٢,٥٧	٠,٣٣٩
٤,٢	١٣,٨٥	٠,٣٧٤
٤,٥	١٥,٩٠	٠,٤٢٩
٤,٨	١٨,١٠	٠,٤٨٩
٥	١٩,٦٣	٠,٥٣٠
٥,٥	٢٣,٧٦	٠,٦٤١
٦	٢٨,٢٧	٠,٧٦٣
٦,٥	٣٣,١٨	٠,٨٩٦
٧	٣٨,٤٨	٠,١٠٤
٧,٥	٤٤,١٨	٠,١١٩
٨	٥٠,٢٧	٠,١٣٦
٨,٥	٥٦,٧٥	٠,١٥٣
٩	٦٣,٦٢	٠,١٧٢
٩,٥	٧٠,٨٨	٠,١٩١
١٠	٧٨,٥٤	٠,٢١٢
١٠,٥	٨٦,٥٩	٠,٢٣٤
١١	٩٥,٠٣	٠,٢٥٧
١١,٥	١٠٣,٩	٠,٢٨٠
١٢	١١٣,١	٠,٣٠٥
١٢,٥	١٢٢,٧	٠,٣٣١
١٣	١٣٢,٧	٠,٣٥٨
١٣,٥	١٤٣,١	٠,٣٨٦
١٤	١٥٣,٩	٠,٤١٦
١٤,٥	١٦٥,١	٠,٤٤٦

(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (م)	مساحة المقطع (م ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
١٥	١٧٦,٧	٠,٤٧٧
١٥,٥	١٨٨,٧	٠,٥٠٩
١٦	٢٠١,١	٠,٥٤٣
١٦,٥	٢١٣,٨	٠,٥٧٧
١٧	٢٢٧,٠	٠,٦١٣
١٧,٥	٢٤٠,٥	٠,٦٤٩
١٨	٢٥٤,٥	٠,٦٨٧
١٩	٢٨٣,٥	٠,٧٦٦
٢٠	٣١٤,٢	٠,٨٤٨
٢١	٣٤٦,٤	٠,٩٣٥
٢٢	٣٨٠,١	١,٠٠٣
٢٣	٤١٥,٥	١,١٢
٢٤	٤٥٢,٤	١,٢٢
٢٥	٤٩٠,٩	١,٣٣
٢٦	٥٣٠,٩	١,٤٣
٢٧	٥٧٢,٦	١,٥٥
٢٨	٦١٥,٨	١,٦٦
٢٩	٦٦٠,٥	١,٧٨
٣٠	٧٠٦,٩	١,٩١
٣٢	٨٠٤,٢	٢,١٧
٣٣	٨٥٥,٣	٢,٣١
٣٤	٩٠٧,٩	٢,٤٥
٣٥	٩٦٢,١	٢,٦٠
٣٦	١٠١٨	٢,٧٠
٣٨	١١٣٤	٣,٠٦

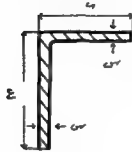
(تابع) الأسياخ المستقيمة

القطر (د) (م)	مساحة المقطع (م ^٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/متر)
٣٩	١١٩٥	٣,٢٣
٤٠	١٢٥٧	٣,٣٩
٤٢	١٣٨٥	٣,٧٤
٤٥	١٥٩٠	٤,٢٩
٤٨	١٨١٠	٤,٨٩
٥٠	١٩٦٣	٥,٣٠
٥٢	٢١٢٤	٥,٧٣
٥٥	٢٣٧٦	٦,٤١
٥٦	٢٤٦٣	٦,٦٥
٦٠	٢٨٢٦	٧,٦٣
٦٣	٣١١٦	٨,٤١
٦٧	٣٥٢٤	٩,٥١
٧٠	٣٨٤٦	١٠,٢٤
٧٥	٤٤١٥	١١,٢٩
٨٠	٥٠٢٤	١٢,٢٣
٨٥	٥٦٧٢	١٥,٢٣
٩٠	٦٣٥٩	١٧,٢٧
٩٥	٧٠٨٥	١٩,١
١٠٠	٧٨٥٠	٢١,٢
١١٠	٩٥٠٣	٢٥,٧
١٢٠	١١٣١٠	٣٠,٥
١٣٠	١٣٢٧٣	٣٥,٨
١٤٠	١٥٣٩٤	٤١,٦
١٥٠	١٧٦٧٢	٤٧,٧
١٦٠	٢٠١٠٦	٥٤,٣

(تابع) الأصيلح المستعيرة

القطر (ق) (م)	مساحة المقطع (م ^٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/متر)
١٧٠	٢٢٦٩٨	٦١,٣
١٨٠	٢٥٤٤٧	٦٨,٧
١٩٠	٢٨٣٥٣	٧٦,٦
٢٠٠	٣١٤١٦	٨٤,٨
٢١٠	٣٤٦٣٦	٩٢,٥
٢٢٠	٣٨٠١٣	١٠٢,٦
٢٣٠	٤١٥٤٨	١١٢,٢
٢٤٠	٤٥٢٣٩	١٢٢,٢
٢٥٠	٤٩٠٨٧	١٣٢,٥

الزوايا المتساوية وغير المتساوية



الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×ت	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
100×100×10	283	0.764
100×100×12	366	0.988
100×100×16	451	1.22
100×100×20	534	1.66
100×100×25	666	1.83
100×100×30	701	1.89
100×100×35	834	1.17
100×100×40	866	1.23
100×100×45	901	1.29
100×100×50	1008	1.37
100×100×55	1166	1.80
100×100×60	1266	1.23
100×100×65	1366	1.24
100×100×70	1406	1.29
100×100×75	1447	1.34
100×100×80	1566	1.47
100×100×85	1666	1.57
100×100×90	1766	1.67
100×100×95	1866	1.77
100×100×100	1966	1.87

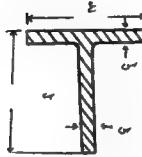
(تابع) الزوايا المتساوية وغير المتساوية

الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٣×٢٠×٣٠	١,٤٢	٠,٣٨٣
٤×٢٠×٣٠	١,٨٥	٠,٥٠٠
٢×٢٠×٤٠	١,١٦	٠,٣١٤
٢,٥×٢٠×٤٠	١,٤٥	٠,٣٩٢
٣×٢٠×٤٠	١,٧٢	٠,٤٦٤
٤×٢٠×٤٠	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٢×٢٥×٢٥	٠,٩٦٦	٠,٢٦١
٢,٥×٢٥×٢٥	١,٢٠	٠,٣٢٤
٣×٢٥×٢٥	١,٤٢	٠,٣٨٣
٢,٥×٢٥×٤٠	١,٥٨	٠,٤٢٧
٣×٢٥×٤٠	١,٨٧	٠,٥٠٥
٤×٢٥×٤٠	٢,٤٥	٠,٦٦٢
٢,٥×٢٥×٥٠	١,٨٣	٠,٤٩٤
٣×٢٥×٥٠	٢,١٧	٠,٥٨٦
٤×٢٥×٥٠	٢,٨٥	٠,٧٧٠
٢,٥×٣٠×٣٠	١,٤٥	٠,٣٩٢
٣×٣٠×٣٠	١,٧٢	٠,٤٦٤
٤×٣٠×٣٠	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٢×٣٠×٥٠	٢,٢٢	٠,٦٢٦
٤×٣٠×٥٠	٣,٠٥	٠,٨٢٤
٥×٣٠×٥٠	٣,٧٨	١,٠٢
٣×٣٠×٦٠	٢,٦٢	٠,٧٠٧
٤×٣٠×٦٠	٣,٤٥	٠,٩٣٢
٥×٣٠×٦٠	٤,٢٨	١,١٦
٢,٥×٣٥×٣٥	١,٧٠	٠,٤٥٩
٣×٣٥×٣٥	٢,٠٢	٠,٥٤٥
٤×٣٥×٣٥	٢,٦٥	٠,٧١٦
٥×٣٥×٣٥	٣,٢٨	٠,٨٨٦
٣×٤٠×٤٠	٢,٢٢	٠,٦٢٦
٤×٤٠×٤٠	٣,٠٥	٠,٨٢٤

(تابع) الزوايا المتساوية وغير المتساوية

الأبعاد (بالمليمتر) ع×ل×س	مساحة المقطع (سم ^٢)	وزن وسلة الأطوال (كجم/م)
٥×٤٠×٤٠	٣,٧٨	١,٠٢
٤×٤٠×٦٠	٣,٨٥	١,٠٤
٥×٤٠×٦٠	٤,٧٨	١,٢٩
٦×٤٠×٦٠	٥,٦٧	١,٥٣
٤×٤٠×٨٠	٤,٦٥	١,٢٦
٥×٤٠×٨٠	٥,٧٨	١,٥٦
٦×٤٠×٨٠	٦,٨٧	١,٨٥
٣×٥٠×٥٠	٢,٩٥	٠,٧٧٨
٤×٥٠×٥٠	٣,٨٥	١,٠٤
٥×٥٠×٥٠	٤,٧٨	١,٢٩
٦×٥٠×٥٠	٥,٦٧	١,٥٣
٥×٥٠×٦٥	٥,٥٣	١,٤٩
٧×٥٠×٦٥	٧,٦٤	٢,٠٦
١٠×٥٠×١٠٠	١٤,٠٨	٣,٨٠
٤×٦٠×٦٠	٤,٦٥	١,٢٦
٥×٦٠×٦٠	٥,٧٨	١,٥٦
٦×٦٠×٦٠	٦,٨٧	١,٨٥
٨×٨٠×٨٠	١٢,٢٤	٣,٣٠
١٠×٨٠×٨٠	١٥,٠٨	٤,٠٧
١٢×٨٠×٨٠	١٧,٨٤	٤,٨٢
١٠×٨٠×١٢٠	١٩,٠٨	٥,١٥
١٢×٨٠×١٢٠	٢٢,٦٤	٦,١١
١٢×٨٠×١٦٠	٢٧,٤٤	٧,٤١
١١×١٢٠×١٢٠	٢٥,٢٧	٦,٨٢
١٤×١٢٠×١٢٠	٢٩,٥٩	٧,٩٩
١٤×١٥٠×١٥٠	٤٠,١٢	١٠,٨٣

الاعمال

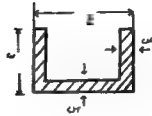


الابعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٢×٢٠×٢٠	٠,٩٦٩	٠,٢٦٢
٢,٥×٢٠×٢٠	١,٢١	٠,٢٢٧
٣×٢٠×٢٠	١,٤٤	٠,٣٨٩
٢×٤٠×٢٥	١,٢٧	٠,٣٤٣
٢,٥×٤٠×٢٥	١,٥٩	٠,٤٢٩
٣×٤٠×٢٥	١,٨٩	٠,٥١٠
٢×٢٠×٣٠	١,١٧	٠,٣١٦
٢,٥×٢٠×٣٠	١,٤٦	٠,٣٩٤
٣×٢٠×٣٠	١,٧٤	٠,٤٧٠
٤×٢٠×٣٠	٢,٢٧	٠,٦١٣
٢,٥×٤٥×٣٠	١,٨٤	٠,٤٩٧
٣×٤٥×٣٠	٢,١٩	٠,٥٩١
٤×٤٥×٣٠	٢,٨٧	٠,٧٧٥
٣×٦٠×٣٠	٢,٦٤	٠,٧١٣
٥×٦٠×٣٠	٤,٣٢	١,١٧
٢,٥×٢٣٥×٣٥	١,٧١	٠,٤٦٢
٣×٢٥×٣٥	٢,٠٤	٠,٥٥١
٤×٢٥×٣٥	٢,٦٧	٠,٧٢١
٣×٥٠×٣٥	٢,٤٩	٠,٦٧٢
٤×٥٠×٣٥	٣,٢٧	٠,٨٨٣

(تابع) القضبان

الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الألفران (كجم/م)
٥×٥٠×٣٥	٤,٠٧	١,١٠
٣×٤٠×٤٠	٢,٣٤	٠,٦٣٢
٤×٤٠×٤٠	٢,٠٧	٠,٨٢٩
٥×٤٠×٤٠	٢,٨٢	١,٠٣
٤×٦٠×٤٠	٣,٨٧	١,٠٤
٥×٦٠×٤٠	٤,٨٢	١,٢٠
٥×٨٠×٤٠	٥,٨٢	١,٥٧
٧×٨٠×٤٠	٨,٠٧	٢,١٨
٣×٥٠×٥٥	٢,٦٤	٠,٧٩٤
٤×٥٠×٥٥	٣,٨٧	١,٠٤
٥×٥٠×٥٥	٤,٨٢	١,٣٠
٦×٥٠×٥٥	٥,٧١	١,٥٤
٤×٧٠×٥٥	٤,٦٧	١,٢٦
٥×٧٠×٥٥	٥,٨٢	١,٥٧
٦×٧٠×٥٥	٦,٩١	١,٨٧
٧×١٠٠×٥٥	١٠,١٧	٢,٧٥
٩×١٠٠×٥٥	١٢,٨٥	٣,٤٧
٤×٦٠×٦٠	٤,٦٧	١,٢٦
٥×٦٠×٦٠	٥,٨٢	١,٥٧
٦×٦٠×٦٠	٦,٩١	١,٨٧
٧×٦٠×٦٠	٨,٠٧	٢,١٨
٨×١٢٠×٦٠	١٢,٩٢	٣,٧٦
١٠×١٢٠×٦٠	١٧,١٦	٤,٦٣
٦×٧٠×٧٠	٨,٠١	٢,١٩
٨×٧٠×٧٠	١٠,٧٢	٢,٨٩
١٠×١٤٠×٧٠	٢٠,١٦	٥,٤٤
١٢×١٤٠×٧٠	٢٣,٩٢	٦,٤٦
٧×٨٠×٨٠	١٠,٨٧	٢,٩٤
٩×٨٠×٨٠	١٣,٧٥	٣,٧١
١٣×١٦٠×٨٠	٢٩,٦٧	٨,٠١
١٥×١٦٠×٨٠	٣٣,٩١	٩,١٠٦
٩×١٠٠×١٠٠	١٧,٢٥	٤,٦٩
١١×١٠٠×١٠٠	٢٠,٩٥	٥,٦٦

التقشان (كرمجى)



الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×ت	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٢×٢×٢٠×٤٠	١,٥٣	٠,٤١٣
٣×٣×٢٠×٤٠	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٣×٣×٣٠×٤٠	٢,٨٥	٠,٧٧٠
٤×٤×٣٠×٤٠	٣,٧١	١,٠٠٠
٤×٤×٤٠×٤٠	٤,٥١	١,٢٢٢
٥×٥×٤٠×٤٠	٥,٥٧	١,٥٠٠
٣×٣×٣٠×٥٠	٣,١٥	٠,٨٥١
٤×٤×٣٠×٥٠	٤,١١	١,١١١
٤×٤×٤٠×٥٠	٤,٩١	١,٣٣٣
٥×٥×٤٠×٥٠	٦,٠٧	١,٦٦٤
٤×٤×٣٠×٦٠	٤,٥١	١,٢٢٢
٥×٥×٣٠×٦٠	٥,٥٧	١,٥٠٠
٤×٤×٤٠×٦٠	٥,٣١	١,٤٤٣
٥×٥×٤٠×٦٠	٦,٥٧	١,٧٧٧
٦×٦×٤٠×٨٠	٨,٩٥	٢,٤٤٢
٨×٦×٤٠×٨٠	١١,٧٢	٣,٠٠٢
٦×٦×٤٠×١٠٠	١٠,١	٢,٧٧٤
٩×٦×٥٠×١٠٠	١٤,١	٣,٨٠٠
٩×٧×٥٠×١٢٠	١٧,٢	٤,٦٦٤
١٠×٧×٦٠×١٤٠	٢٠,٦	٥,٥٥٥
١١×٨×٦٥×١٦٠	٢٥,٥	٦,٨٨٩
١١×٨×٧٠×١٨٠	٢٨,٢	٧,٦٦١
١٢×٩×٧٥×٢٠٠	٣٤,٠	٩,١٨٨

الأسياخ المربعة

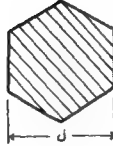


طول الفلج ل (م)	مساحة المقطع ل ² (م ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٢	٤	٠,١٠٨
٣	٩	٠,٢٤٣
٣,٥	١٢,٢٥	٠,٣٣١
٤	١٦	٠,٤٣٢
٤,٥	٢٠,٢٥	٠,٥٤٧
٥	٢٥	٠,٦٧٥
٥,٥	٣٠,٢٥	٠,٨١٧
٦	٣٦	٠,٩٧٢
٧	٤٩	٠,١٣٢
٨	٦٤	٠,١٧٣
٩	٨١	٠,٢١٩
١٠	١٠٠	٠,٢٧٠
١١	١٢١	٠,٣٢٧
١٢	١٤٤	٠,٣٨٩
١٤	١٩٦	٠,٥٢٩
١٥	٢٢٥	٠,٦٠٨
١٦	٢٥٦	٠,٦٩١

(تابع) الأسياخ المربعة

طول الفلج ل (م)	مساحة المقطع ل ^٢ (م ^٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
١٧	٢٨٩	٠,٧٨٠
١٨	٣٢٤	٠,٨٧٥
١٩	٣٦١	٠,٩٧٥
٢٠	٤٠٠	١,٠٨٠
٢٢	٤٨٤	١,٣١
٢٤	٥٧٦	١,٥٦
٢٦	٦٧٦	١,٨٨
٢٧	٧٢٩	١,٩٧
٢٨	٧٨٤	٢,١٢
٣٠	٩٠٠	٢,٤٣
٣٢	١٠٢٤	٢,٧٦
٣٦	١٢٩٦	٣,٥٠
٤١	١٦٨١	٤,٥٤
٤٦	٢١١٦	٥,٧١
٥٠	٢٥٠٠	٦,٧٥
٥٥	٣٠٢٥	٨,١٧
٦٠	٣٦٠٠	٩,٧٢

الإسباح المسدة

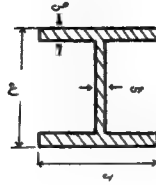


البعـد ل (م)	مساحة المقطع (م ^٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٣	٧,٧٩٤	٠,٠٢١٠
٣,٥	١٠,٦١	٠,٠٣٨٦
٤	١٣,٨٦	٠,٠٣٧٤
٤,٥	١٧,٥٤	٠,٠٤٧٣
٥	٢١,٦٥	٠,٠٥٨٥
٥,٥	٢٦,٢٠	٠,٠٧٠٧
٦	٣١,١٨	٠,٠٨٤٢
٧	٤٢,٤٤	٠,١١٥
٨	٥٥,٤٣	٠,١٥٠
٩	٧٠,١٥	٠,١٨٩
١٠	٨٦,٦٠	٠,٢٣٤
١١	١٠٤,٨	٠,٢٨٣
١٢	١٢٤,٧	٠,٣٣٧
١٤	١٦٩,٧	٠,٤٥٨

(تابع) الأسليخ المسمة

الجمد ل (م)	مساحة المقطع (م ^٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
١٧	٢٥٠,٣	٠,٦٧٦
١٩	٣١٢,٦	٠,٨٤٤
٢٢	٤١٩,٢	١,١٣
٢٤	٤٩٨,٨	١,٣٥
٢٧	٦٣١,٣	١,٧٠
٣٠	٧٧٩,٤	٢,١٠
٣٢	٨٨٦,٨	٢,٣٩
٣٦	١١٢٢	٣,٠٣
٤١	١٤٥٦	٣,٩٣
٤٦	١٨٣٣	٤,٩٥
٥٠	٢١٦٥	٥,٨٥
٥٥	٢٦٢٠	٧,٠٧
٦٠	٣١١٨	٨,٤٢

كرات على شكل I (كمر عادة)



الأبعاد (بالمليمتر) ع × ب × ص × سم	مساحة المقطع (سم ²)	وزن وحدة الأطوال (كجم / م)
3×3×40×40	3,47	0,937
4×4×40×40	4,03	1,22
3×3×40×40	3,92	1,06
4×4×40×40	0,13	1,39
0×4×40×40	0,90	1,61
3×3×50×50	4,37	1,18
4×4×50×50	0,73	1,00
6×4×50×50	7,66	3,01
3×3×50×60	4,67	1,26
4×4×50×60	6,13	1,66
4×4×60×60	6,93	1,87
6×4×60×60	9,26	2,00
6×4×42×80	7,90	2,13
6×0×60×80	10,74	3,90
7×0×50×100	11,44	3,09
7×6×70×100	10,27	4,12
8×0×0×8×120	14,79	3,99
9×7×80×120	21,80	0,90
9×6×66×140	19,01	0,27
10×8×90×140	27,91	7,04
10×7×74×160	24,91	6,73
10×7×82×180	27,91	7,04
11×8×90×200	34,30	9,28

thickening	تخليط	vibrating screen	منخل هزاز
trunion	مرتكز دوراني	volatile matter	مادة طيارة
		volt	فولط
unit operation	عمليات فيزيائية موحدة	voltage	فولطية
unit process	أصاليب كيميائية موحدة	workability	قابلية التشميل
unlimited solubility		yield strength	مقاومة الخضوع
	ذائبة غير محدودة		

pouring gate	مصبب (مباكة)	slip planes	مستويات انزلاق
powder	مسحوق	soaking	تشريب (حرارى)
precipitation	ترسيب - ترسب	soda ash	صودا آسن (رماد الصودا)
precipitator	مرسب	sodium aluminate	ألومينات الصوديوم
peritectic reaction	تفاعل بيريتيكي	solidification	تجميد
pulp	لباب	solid solution	محلول جامد
purity	نقاء ، نقاوة	solidus	خط الحدود
quartz	كوارتز	solubility	ذائبية
quenching	تسقية (تبريد سريع)	solute	مذاب
reaction energy	طاقة التفاعل	specific heat	الحرارة النوعية
recovery	استعادة	squeeze	هصر
recrystallization	إعادة التبلور	steam digester	هاضم بخارى
red mud	طينة حمراء	steam separator	فاصل البخار
refining	تنقية	steel bar	قضيب فولاذى
reflectivity	انعكاسية	stiffness	كثاظة
refractories	حراريات	stress	إجهاد
resistance coil	ملف مقاومة	superheated steam	بخار محمص
reverberatory electric furnace	فرن كهربائى عاكس	supersaturated	تشبع مفرط
reverberatory furnace	فرن عاكس	suspension	معلق
reversible reaction	تفاعل عكسى	synthetic	اصطناعى
roasting	تحميص	syphon	مثطب (سيفون)
rolling	درفلة	taphole	فتحة الصب
rotary kiln	قينة دوارة	tar	قطران
seed crystal	نواة بلورية	tensile strength	مقاومة الشد
segregation	انفصالية	three-high mill	ماكينة درفلة ثلاثية
shear strength	مقاومة القص	three phase current	تيار كهربائى ثلاثى الأطوار (الأوجه)
sintering	تلييد	thermite	ثرميت
		thickener	مضللط

grain refining	تهذيب الحبيبات	melting range	نطاق انصهارى
graphite	جرافيت	mercury arc rectifier	مقوم قوسى زئبق
grinding	طحن	modulus of elasticity	معامل المرونة
hammer mill	طاحونة مطرقية (طاحونة الشواكيش)	molecular ratio	نسبة جزيئية
heat treatment	معاملة حرارية	Monel metal	معدن مونل
heavy metal	فلز ثقيل		(سبيكة أساسها النحاس والنيكل)
homogeneity	تجانس	noble metals	معادن نفيسة
hot working	تشغيل على الساخن	nonvariant	غير متغير
hydrated alumina	ألومينا ممتية	open mines	مناجم مكشوفة
hydroelectric station	محطة كهرومائية	orange peel	قشرة البرتقالة
		ore	خامسة معدنية
		oxyacetylene	أكسى استيلين
ignition point	نقطة الاشتعال	parallel circuit	دائرة على التوازي
impurities	شوائب	peat	خث (نوع رطب من الوقود)
Inconel	إنكونل (سبيكة إنكونل)	phase	صنف (طور)
	(سبيكة من النيكل والحديد والكروم)	pile	عمود كهربائى - مركب
induction	حث (كهربائى)	pitch	قار
induction transformer	محول حثى	plastic deformation	تشوه لدن
inhibitor	مثبط (كيميائى)	platform	منصة
insoluble	غير قابل للذوبان	pneumatic piston	كباس بالهواء المضغوط
intergranular	بين الحبيبات	Poisson's ratio	نسبة « بواسون »
ladle	بودقة	pole	قطب
latent heat	حرارة كامنة	polishing	تلميع ، صقل
leaf filter	مرشح ورق	porosity	مسامية
leaf spring	ياى ورق	potential	جهد قطبى
limestone	حجر جيرى		
lining	بطانة		
liquidus	خط السيولة		
low-grade ore	خام ردى الجودة		
lubrication	تزييق		

clamp	تاسطة	electrolysis	تحليل بالكهرباء
classifier	مصنف	electrolytic solution	محلول إلكتروليتي
clay	طين	electrode	إلكترود
coke	فحم كوك	electrolyte	إلكتروليت
cold working	تشغيل على البارد	elongation	استطالة
complex compound	مركب (كيميائي) معقد	emissivity	إبتمائية
concentration triangle	مثلث التركيز	equilibrium diagram	منحنى اتزان حرارى
condenser	مكثف	erosion	تآكل
conveyor	ناقل	etching	نمش (بمحلول كيميائي)
copper rod	قضيب نحاس	extrusion	بثق
corrosion	تآكل كهروكيميائي	filtration	ترشيح
crankcase	علبة المرفق	floatation	تصويم
crushing	تكسير (خامة مدنية)	flo(u)rides	فلوريدات (أملاح الفلور)
cryolite	كريولايت	fluorspar(Ca F₂)	فلورسبار (كا فل ₂)
crystal	بلورة	flux	عامل صهار (فليكس)
crystal pattern	نمط بلورى	foil	رقاقة
cylinder head	رأس الأسطوانات	forgeability	قابلية التشكيل بالطرق أو الكبس
decomposition	تفكك	forging	طرق - حدادة
dewatering	إزالة الماء	free energy	طاقة مطلقة
diffusion	انتشار	friction	احتكاك
digest	هضم (احتواء كيميائي)	fuel furnace	فرن وقود
digester	وعاء هاضم	galvanic corrosion	تآكل جلفاني
ductility	مطيلية	galvanic pile	عمود جلفاني
eddy motion	حركة دوامية	gas engine	محرك بزين
electrical conductivity	موصلية كهربائية	generator	مولد (كهربائي)
electric cell	خلية كهربائية		
electric induction	حث كهربائي		

المصطلحات الفنية

(إنجليزية - عربى)

acidity	حمضية	autoclave	أوتوكلاف
ageing	تعتيق إزمانى	ball mill	طاحونة ذات كريات
agitator	قلاب - مقلب		(طاحونة الكور)
alkaline metals	فلزات الإقلاء	base metal	فلز أساسى
allotropic	متأصل - تأصل	bath	مصبور (المحدث)
alumina	ألومينا	bauxite	بوكسايت
(aluminum oxide)	(أكسيد الألومنيوم)	Bayer's process	طريقة باير
aluminum carbide	كربيد الألومونيوم	bed-plate	لوح الأساس
aluminum (metallic)	ألومونيوم (فلزى)	belt conveyor	ناقلة بالسير
aluminum pigs	كتل صغيرة من الألومونيوم	binary system	مجموعة ثنائية
aluminum powder	مسحوق الألومونيوم	brinell number	عدد برينل
anode	أنود (مصعد)	brittle	قصيف
anodic effect	تأثير أنودى	calcination	تكليس ، كلستة
annealing	تلدين (تخمير)	castability	سبكية (قابلية السباكة)
anthracite	أنثراسيت (نوع من الفحم)	casting	سباكة (صب)
artificial ageing	تعتيق إزمانى اصطناعى	cathode	كاثود (مهبط)
ash	رماد	cation	كاتيون
		caustic liquor	سائل قلوى
		caustic soda	صودا كاوية
		(Na OH)	(ص أ يد)
		caustic solution	محلول كاوى
		chemical compound	مركب كيميائى

سلسلة الأسس التكنولوجية

- ١ - الكيمياء الصناعية
- ٢ - أشغال الخشب (النجارة)
- ٣ - الإلكترونيات
- ٤ - المحرطة
- ٥ - الأمان الصناعي
- ٦ - براد التجميع
- ٧ - هندسة الموتوسيكلات
- ٨ - النظائر في البحوث والإنتاج
- ٩ - تشكيل ١١-ادن بدون قطع
- ١٠ - الأساسيات الكهربائية ج ١
- ١١ - الأساسيات الكهربائية ج ٢
- ١٢ - هندسة السيارات
- ١٣ - هندسة الجرافات
- ١٤ - الجداول الفنية (-)
- ١٥ - الرسم الهندسي
- ١٦ - الحمام بالغاز ج ١
- ١٧ - الحمام بالغاز ج ٢
- ١٨ - الحمام بالغاز ج ٣
- ١٩ - أشغال المعادن
- ٢٠ - التركيبات الكهربائية
- ٢١ - أشغال قطع المعادن
- ٢٢ - تكنولوجيا الألمنيوم ج ١
- (-) نقد وسعاد طبعه

